



ReMIX

Species mixtures for redesigning
European cropping systems

PROJET EUROPÉEN H2020 ReMIX

DE LA THÉORIE À LA MISE EN PRATIQUE DES MÉLANGES D'ESPÈCES

Re-concevoir les systèmes
de culture européens
avec des mélanges d'espèces

Inclus une étude de la faisabilité de la récolte et du tri
+ 52 fiches techniques issues d'expériences d'agriculteurs

Sommaire

Auteurs

Laurent Bedoussac
Lisa Albouy
Elina Deschamps
Chloé Salembier
Marie-Hélène Jeuffroy

Contributeurs

- AGCO : Morrison A.
- Aristotle University of Thessalonik (Grèce) : Dordas C., Lithourgidis A., Pankou C.
- Centre for Agricultural Advisory Services (Pologne) : Krysztoforski M., Noworól M.
- Etablissements Denis (France) : Bourachot P.
- Institut de recherche de l'agriculture biologique (Suisse) : Clerc M., Wendling M.
- INRAE (France) :
 - > UMR AGIR : Albouy L., Bedoussac L., Chery-Lagrange A., Deschamps E., Garrigues J.-F., Goyard Y., Moreau C.
 - > UMR Agronomie : Jeuffroy M.-H., Pelzer E., Salembier C., Verret V.
- Instituto Navarro de Tecnologías e Infraestructuras Agroalimentarias (Espagne) : Virto C.
- Louis Bolk Institute (Pays-Bas) : de Buck A., Hillaert M., Luske B., van de Burgt G. J.
- Scotland's Rural College (Royaume-Uni) : Walker R. L.
- Roskilde University (Danemark) : Aare A. K., Hauggaard-Nielsen H.
- Swedish University of Agricultural Sciences (Suede) : Chongtham I. R., Dhamala N. R., Jensen E. S.
- Terrena (France) : Daniau M., Pinel B.
- Universität Kassel (Allemagne) : Timaeus J.

01

ReMIX
et cultures
associées

PAGE 4

02

De la traque
à la co-conception

PAGE 10

03

Fiches techniques
agriculteurs

PAGE 20

04

Récolte et tri
des mélanges

PAGE 84

Résumé

La culture associée, ou mélange d'espèces ou association d'espèces, est une pratique agricole consistant à cultiver, dans une même parcelle, au moins deux espèces, pendant une période significative de leur croissance, et qui présente de nombreux intérêts, comme : I) diversifier les assolements et les rotations ; II) accroître la résilience face aux aléas grâce à des rendements plus stables et une moindre pression des facteurs biotiques ; et III) réduire l'usage des intrants et leurs impacts sur l'environnement.

Le projet **ReMIX**, financé pendant quatre ans par l'Union Européenne dans le cadre du programme *Horizon 2020*, s'est fixé comme objectif de proposer des solutions pratiques et adaptées aux agriculteurs et aux différents acteurs des filières agricoles et ceci dans diverses conditions pédoclimatiques et sociotechniques à l'échelle européenne.

Partant du constat que les agriculteurs manquent de références techniques et d'accompagnement en particulier sur le choix des espèces et variétés à associer, le projet **ReMIX** a développé et mis en œuvre une approche de co-conception multi-acteurs afin d'associer des connaissances diverses et complémentaires pour concevoir des mélanges d'espèces qui répondent aux objectifs, moyens, contextes et pratiques de chaque acteur.

L'une des principales contraintes au développement des cultures associées concerne la récolte et le tri des grains dès lors que le mélange n'est pas utilisé tel quel, ce qui est souvent le cas à l'exception de certains mélanges pour l'alimentation animale. Ainsi, le projet **ReMIX** a cherché à savoir si l'on pouvait récolter et trier des cultures associées de façon à ce que les produits commercialisés respectent les normes alimentaires et *in fine* offrir une valorisation économique satisfaisante aux agriculteurs.

Ce document vise à favoriser le partage au plus grand nombre des connaissances sur les cultures associées à travers : 1) la présentation du projet **ReMIX**, 2) des informations sur le fonctionnement et les performances des mélanges, 3) la perception qu'ont les acteurs des cultures associées et la diversité des mélanges mis en œuvre dans les exploitations, 4) des fiches techniques issues d'expériences d'agriculteurs et enfin 5) des éclairages sur la question de la faisabilité de la récolte et du tri.

01

ReMIX et cultures associées



Figure 2



Le projet ReMIX

L'agriculture de l'Union Européenne doit s'engager dans une transition vers des systèmes plus **agroécologiques combinant productivité et durabilité** (écologique, économique et sociale). La diversification des systèmes de culture, grâce notamment à l'utilisation des cultures associées – la culture simultanée d'au moins deux espèces dans un même champ –, peut contribuer à produire une **alimentation de qualité**, en **quantité suffisante**, tout en réduisant l'impact environnemental des pratiques agricoles actuelles.

Débuté en mai 2017 pour une durée de 4 ans, le projet européen **ReMIX – « Redesigning European cropping systems based on species MIXtures »** – a bénéficié d'un financement de cinq millions d'euros par l'Union Européenne, dans le cadre du programme Horizon 2020 (**Figure 1**).

Ce projet, qui regroupe **23 partenaires** (instituts de recherche, instituts techniques, sélectionneurs, coopératives et fabricants de matériel agricole) de **13 pays**, de la Grèce à la Suède (**Figure 2**), avait pour objectif de valoriser les services rendus par les associations d'espèces pour concevoir des systèmes de culture agroécologiques, aussi bien en agriculture conventionnelle que biologique, et pour des conditions pédoclimatiques et sociotechniques diverses.

Ces nouveaux systèmes de culture avaient pour ambition d'être plus **diversifiés**, plus **résilients**, **moins dépendants** des intrants, plus **respectueux de l'environnement** et **acceptables** par les agriculteurs et les acteurs des filières agro-alimentaires et agro-industrielles.

Pour atteindre ces objectifs, le projet **ReMIX** a développé et mis en œuvre une approche de co-conception multi-acteurs qui consiste à mobiliser une **diversité d'acteurs** (agriculteurs, conseillers, fabricants de matériel agricole, techniciens de coopératives, ingénieurs d'instituts techniques, acteurs de la collecte et de la transformation, chercheurs du projet **ReMIX**), afin d'**associer des connaissances** diverses et complémentaires pour **concevoir des innovations** qui répondent aux objectifs, moyens, et pratiques de chaque acteur.

Allant de la spécification des besoins des utilisateurs finaux jusqu'à la co-conception d'expérimentations et d'associations mises en œuvre chez des agriculteurs afin d'évaluer de nouvelles variétés et pratiques, cette approche a permis de produire de nouvelles connaissances, à la fois **robustes d'un point de vue scientifique** et **socialement utiles** et contribuant *in fine* au **développement de systèmes agricoles** productifs, résilients et moins dépendants des intrants chimiques.

Figure 1 • Le projet ReMIX en six points



Définition des cultures associées

La **culture associée** ou **mélange d'espèces**, est une pratique agricole qui existe sous différentes formes (Figure 3) :

- Des mélanges **plurispécifiques** où les espèces sont récoltées en même temps et produisent des grains, soit pour la consommation humaine, soit pour l'alimentation animale (ex: lentille-blé, soja-tournesol, pois-blé, lupin-triticales) ;
- Des associations entre une **culture de vente et une ou des plantes de service**, non récoltées, qui peuvent se substituer aux intrants chimiques (ex: colza avec un mélange de trèfle, fenugrec et vesce) ;
- Des associations **en relais** qui consistent à planter différentes espèces en décalé pour optimiser l'utilisation de l'espace et des ressources tout en limitant les concurrences comme lors de l'implantation de légumineuses fourragères dans un couvert de céréales.

Figure 3 • Les différentes formes de cultures associées



Performances des associations

L'association entre une légumineuse et une céréale est la forme la plus étudiée dans les systèmes européens. Une synthèse de 58 expérimentations conduites en agriculture biologique sur 10 ans dans différents pédoclimats européens a permis de quantifier la performance de ce type d'associations en termes notamment de rendement, de teneur en protéines des céréales et d'utilisation de l'azote.

Cette étude a montré que **le rendement des cultures associées est, le plus souvent, plus élevé que la moyenne des cultures pures** (+27 % en moyenne ; Figure 4) et il est aussi plus stable, du fait de la compensation entre espèces mais aussi de processus de facilitation (moins de verse par exemple) sans oublier une réduction des adventices notamment par rapport aux légumineuses pures.

Dans cette étude, **la teneur en protéines de la céréale en association est généralement plus élevée que celle en culture pure** (11,1 % versus 9,8 % en moyenne ; Figure 4). Cela s'explique par la conjonction de deux mécanismes : I) un rendement moindre de la céréale, lié à la compétition de la légumineuse et à une moindre densité de semis ; et II) une quantité d'azote minéral disponible quasiment identique à la céréale pure, du fait du taux de fixation élevé de la légumineuse. Dès lors, la quantité d'azote disponible par kilogramme de grains de céréales est de l'ordre de 50 % supérieur pour la céréale associée par rapport à la céréale cultivée seule, ce qui contribue à une augmentation de la teneur en protéines. À noter toutefois que cette amélioration ne s'observe que lorsque la disponibilité en azote minéral est faible dans le sol.

À la récolte, la proportion de l'azote des légumineuses, issu de la fixation, est plus élevée en association qu'en culture pure (73 % versus 61 % en moyenne ; Figure 5). Ce phénomène s'explique par le fait que la céréale épuise rapidement l'azote minéral disponible dans le sol, en raison d'une croissance plus rapide de son système racinaire que celle de la légumineuse, forçant cette dernière à accroître sa fixation symbiotique pour répondre à ses besoins en azote.

En revanche, en association, le rendement de la légumineuse est le plus souvent inférieur à celui mesuré en culture pure de fait de la présence de la céréale et d'une densité de semis plus faible. Par conséquent, la quantité d'azote fixée par hectare est le plus souvent réduite par rapport à celle mesurée en culture pure.

In fine, les cultures associées présentent de nombreux atouts mais leur introduction dans les systèmes de culture doit être pensée et gérée en fonction des contextes pédoclimatiques et socio-économiques et combinée à d'autres pratiques et notamment la gestion des intercultures.

Par ailleurs, des recherches doivent aussi être poursuivies concernant la gestion des cultures associées (choix des espèces, variétés, densités de semis, désherbage, fertilisation, ...) pour identifier les associations les mieux adaptées à différents contextes.

Figure 5 • Quantité d'azote fixée ou prélevée par hectare par une céréale ou une légumineuse seule ou associée

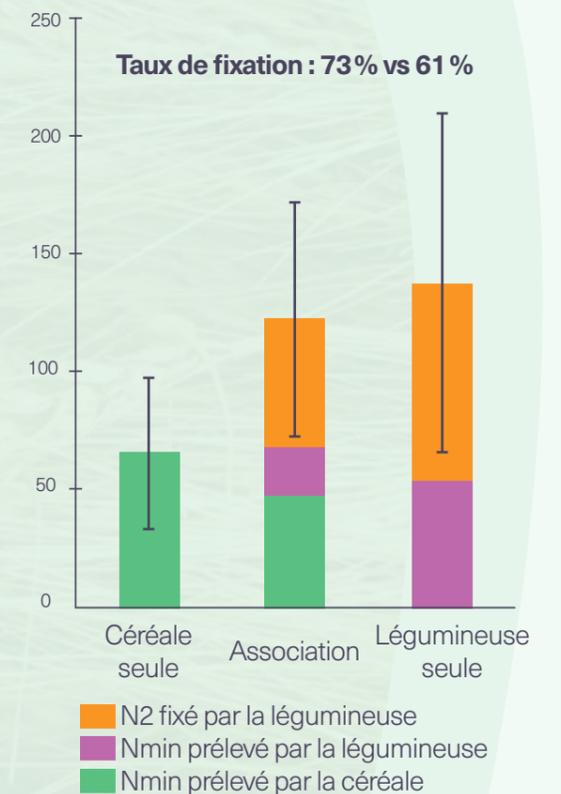
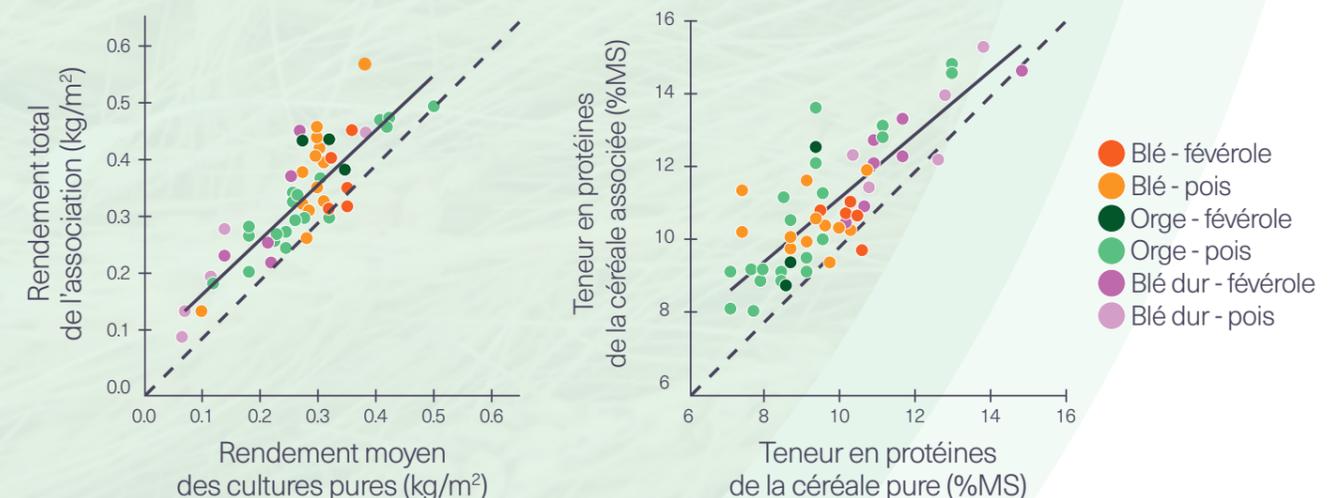


Figure 4 • Rendement en agriculture biologique de l'association en fonction du rendement moyen des cultures pures et teneur en protéines en agriculture biologique des céréales associées en fonction des céréales pures



Fonctionnement des mélanges

Les cultures associées permettent d'utiliser plus efficacement les ressources disponibles en valorisant la complémentarité entre les espèces afin d'augmenter la production et la qualité des produits récoltés, réduire l'application d'engrais azotés, mais aussi contrôler les maladies et adventices, tout en réduisant l'usage de pesticides.

Dans les cultures associées, il existe différents types d'interactions qu'il s'agisse d'interactions directes entre les espèces ou indirectes dès lors qu'une espèce modifie l'environnement de l'espèce qui lui est associée (Figure 6).

Quand une espèce modifie l'environnement de l'espèce qui lui est associée de façon positive, on parle de **facilitation**. Par exemple, une espèce ayant un risque de verse élevé en culture pure, comme la lentille ou le pois, pourra être soutenue par une autre espèce plus résistante, souvent une céréale. Quand, au contraire, cette modification est négative, on parle de **compétition**.

8 Une grande majorité d'associations combine des céréales et des légumineuses car elles présentent des dynamiques de croissance, et des architectures aériennes et racinaires différentes, réduisant leur compétition pour les mêmes ressources, ou tout du moins étalant ou différant celle-ci dans le temps et l'espace. On parle alors de **complémentarité** entre espèces.

Associer des légumineuses à des non-légumineuses présente un intérêt tout particulier lié à la capacité des premières à fixer l'azote atmosphérique. Cette singularité se traduit par un processus dit de **complémentarité de niche** qui correspond à l'exploitation de ressources différentes entre les espèces (Figure 7). Dans ce cas particulier, les légumineuses peuvent utiliser l'azote atmosphérique contrairement aux céréales qui ne peuvent valoriser que l'azote minéral du sol.

Cette **complémentarité de niche** peut aussi être liée à des enracinements différenciés quand certaines espèces exploitent les horizons superficiels alors que d'autres valorisent les horizons profonds, ou que les vitesses d'exploration du sol sont différentes entre espèces. Il en va de même pour l'utilisation de l'énergie lumineuse lorsqu'on associe, par exemple, une plante qui couvre le sol, comme un trèfle, avec une espèce qui se développe plutôt verticalement, comme du blé. Enfin,

cette **complémentarité** inter-espèces s'exprime aussi lorsque les besoins des espèces qui la composent sont asynchrones, par exemple pour l'eau ou la lumière entre une espèce précoce et une tardive.

In fine, quand les espèces associées ont des sensibilités différentes aux conditions environnementales, la croissance plus difficile de l'une des deux espèces pourra être compensée par l'autre, moins sensible à ces conditions. On parle, dans ce cas, de **compensation**.

Figure 6 • Les différents types d'interaction entre les espèces au sein d'une culture associée



Figure 7 • D'après la plaquette du projet ANR Legitimes, 2018.

Figure 7 • Principe de fonctionnement des cultures associées

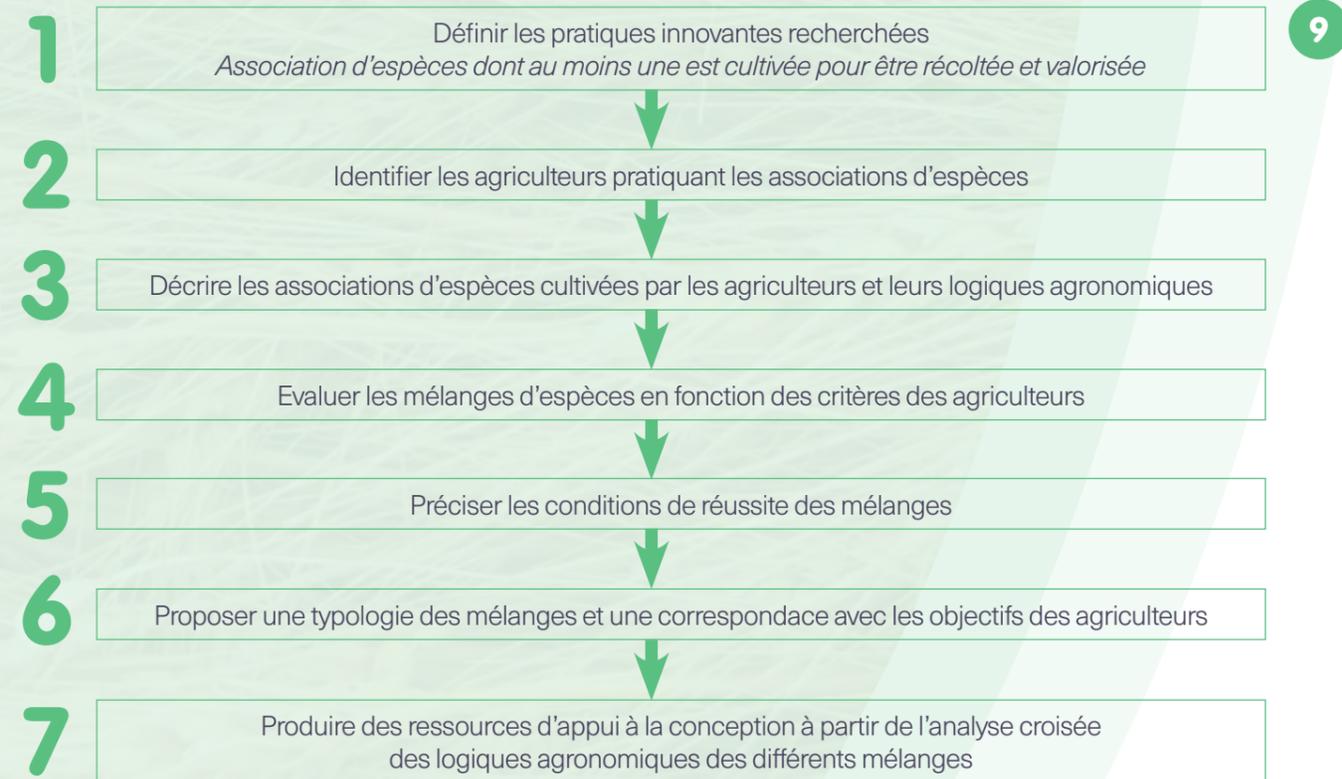


Figure 8 • Verret et al., 2020

02

De la traque à la co-conception



La traque aux innovations

Dans le cadre du projet **ReMIX**, une traque aux innovations en ferme a été réalisée en France en 2017-2018 afin de recenser et d'analyser les pratiques innovantes des agriculteurs en termes de cultures associées en utilisant la méthode présentée dans la **Figure 8**.

Au cours de cette traque, des entretiens ont été menés avec 47 agriculteurs qui ont permis de caractériser les associations cultivées par ces derniers et leur **logique d'action**, c'est-à-dire les liens de cohérence entre les objectifs visés, les pratiques mises en œuvre et les critères de satisfaction des agriculteurs.

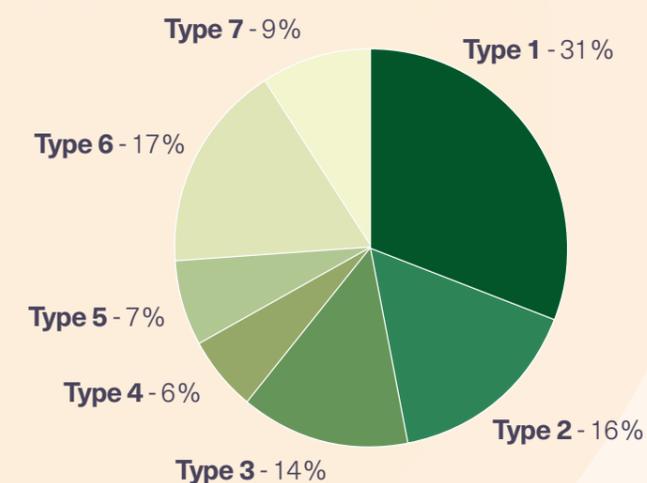
Au total, **77 combinaisons** différentes impliquant **29 espèces** ont été identifiées. La grande majorité des mélanges pratiqués par les agriculteurs comprennent des légumineuses, en particulier le pois, la féverole et la lentille. Une typologie de ces associations a été réalisée conduisant à la définition de sept types qui se discriminent en fonction de la période de semis, du débouché de la récolte ou encore de l'organisation temporelle du mélange (**Figure 9**).

- **Type 1** : Mélange de deux cultures de rente d'hiver semées et récoltés simultanément
- **Type 2** : Mélange de plus de deux cultures de rente d'hiver semées et récoltés simultanément
- **Type 3** : Mélange de deux cultures de rente de printemps semées et récoltés simultanément
- **Type 4** : Une culture de rente semée simultanément avec une ou plusieurs plantes compagnes temporaires
- **Type 5** : Mélange de deux cultures de rente semées en relai pour une double culture
- **Type 6** : Une culture de rente avec une ou plusieurs plantes compagnes semées en relai
- **Type 7** : Une culture de rente semée dans un couvert vivant établi préalablement

Cette traque a permis de montrer que les motivations des agriculteurs pour la réalisation de ces mélanges sont très diverses (**Tableau 1**) bien que l'apport d'azote dans le système ainsi que la limitation du développement des mauvaises herbes soient prépondérants. Aussi, les agriculteurs interrogés évoquaient un certain nombre de limitations à la mise en œuvre des cultures associées à la fois d'ordre technique (semis, récolte, tri) et économiques (réglementation et débouchés).

Il est intéressant de souligner que la plupart de ces éléments ont été acquis par des travaux de recherche, confirmant la production de connaissances, issues de la mise en pratique des cultures associées. Cela met ainsi en évidence que ce type de connaissances, associées à des connaissances scientifiques, est particulièrement bien **valorisé** dans les démarches de co-conception d'innovations.

Figure 9 • Les différents types d'association rencontrés



Les plateformes multi-acteurs

Le projet **ReMIX** s'est fixé pour objectif de développer des solutions pratiques et adaptées aux agriculteurs et aux différents acteurs des filières agricoles et ceci dans diverses conditions pédo-climatiques et sociotechniques à l'échelle européenne. Concrètement, cela s'est traduit par la mise en place de 11 plateformes multi-acteurs réparties dans toute l'Europe (**Figure 10**) dont deux en France (Centre Ouest et Sud-Ouest).

L'objectif de ces plateformes était entre autres de : I) générer des innovations pour être ensuite évaluées collectivement afin de conserver et mettre en œuvre *in fine* les plus pertinentes ; II) mettre en œuvre et gérer cette dynamique d'innovation multi-acteurs, en gérant le processus de conception et la diversité des expérimentations dans les territoires correspondant ; III) fournir des informations pratiques et accessibles sur les mélanges d'espèces pour une utilisation immé-

diante, mais également ; IV) apporter des conseils pour surmonter les obstacles réglementaires et institutionnels à l'adoption généralisée des mélanges d'espèces dans l'Union Européenne.

Ces plateformes multi-acteurs ont servi de support à des expérimentations locales en station et en ferme pour tester une diversité de cultures associées et de modalités techniques, ainsi qu'à des essais plus analytiques, conduits par les chercheurs, notamment sur la compréhension des processus biologiques et écologiques à l'œuvre dans ces associations d'espèces afin de pouvoir optimiser leurs performances (agronomiques et économiques) et leur gestion (choix des espèces, variétés et interventions techniques). Ainsi, ces plateformes multi-acteurs constituaient des sites privilégiés de démonstration, ouverts aux agriculteurs, mais aussi à une diversité d'autres acteurs lors de journées dédiées.

Figure 10 • Localisation et nature des 11 plateformes multi-acteurs du projet ReMIX



Les ateliers de co-conception

Partant du constat que les agriculteurs manquaient de références techniques et d'accompagnement en particulier sur le choix des espèces et des variétés à associer, des ateliers de co-conception ont été organisés dans différentes plateformes multi-acteurs, dont celle du Sud-Ouest de la France, pour imaginer collectivement les associations d'espèces à tester en conditions réelles, en tenant compte des avis, objectifs et contraintes des agriculteurs.

Au total, quatre ateliers, comptant chacun entre trois et six agriculteurs, ont été réalisés en 2018 dans le sud-ouest de la France (**Figure 11**) et ont permis de produire chacun un ou deux itinéraires techniques d'association.

Notons que la majorité des participants étaient en agriculture biologique et pratiquaient déjà les cultures associées (**Figure 12**), notamment à base de féverole et de pois, ainsi qu'à base de luzerne et de lentille, confirmant les résultats de la traque aux innovations évoquée précédemment.

La plupart des agriculteurs ont été volontaires pour participer à cette démarche de co-conception pour améliorer leurs pratiques, soulignant une forte attente vis-à-vis du projet en termes d'échanges d'expérience avec d'autres agriculteurs mais également avec la recherche.

Les ateliers de co-conception ont été organisés en plusieurs temps, dont un permettant aux agriculteurs d'exprimer leur point de vue sur les associations d'espèces. Il ressort de cette concertation que les questions du débouché et de la commercialisation apparaissent comme centrales, en lien avec la récolte et le tri.

D'autres éléments ont été évoqués par les agriculteurs, comme les difficultés liées au semis et au désherbage notamment. Toutefois, il est intéressant de noter que ces éléments ne sont pas perçus comme des difficultés par les agriculteurs pratiquant les cultures associées suggérant que la mise en pratique permet d'identifier des solutions pour résoudre ces difficultés.

En ce qui concerne les intérêts perçus par les agriculteurs, on retrouve logiquement ceux évoqués dans le cadre de la traque aux innovations et notamment l'augmentation et la stabilisation des rendements, la réduction de l'enherbement par

rapport aux légumineuses pures, ou encore la meilleure qualité des céréales.

En préalable à la co-conception des itinéraires techniques, les participants aux ateliers ont été invités à classer les thèmes prioritaires faisant apparaître que leurs questionnements portaient tout d'abord sur des aspects techniques (choix des espèces et variétés à associer, semis, fertilisation et place des associations dans les rotations) et, en second lieu, sur la gestion des facteurs biotiques et des adventices (**Figure 13**).

En intégrant les contraintes et objectifs de chaque participant, la démarche de co-conception a permis de faire émerger différentes options possibles pour une même combinaison d'espèces permettant une adaptation à des contextes différents.

Concrètement, la transposition d'un même objectif s'est traduite par différents itinéraires techniques en termes d'espèces et de choix techniques (**Figure 14**), et ceci du fait de l'adaptation au contexte particulier de chaque agriculteur (pédoclimat, matériel disponible, présence d'animaux, taille de l'exploitation, capacité à trier...).

Figure 11 • Photographie prise lors d'un atelier de co-conception



2. De la traque à la co-conception

Tableau 1 • Forces, opportunités, faiblesses et menaces vis-à-vis de la mise en œuvre des cultures associées

FORCES ET OPPORTUNITÉS	FAIBLESSES ET MENACES
Apport d'azote lorsque des légumineuses sont présentes dans le mélange elles fixent l'azote atmosphérique limitant le recours à la fertilisation	Semis en termes de choix des profondeurs, des variétés, des dates et des densités de semis des deux espèces.
Augmentation et stabilisation du rendement à travers une meilleure utilisation des ressources abiotiques et un équilibre entre les deux espèces limitant la sensibilité aux aléas biotiques et climatiques.	Récolte en termes de dates et de réglages de la moissonneuse-batteuse à adapter en fonction de la maturité des espèces et des différences de taille des grains.
Réduction des adventices en raison d'une moindre disponibilité en azote et en lumière pour leur développement.	Tri qui nécessite du temps, des compétences et un investissement initial qu'il soit réalisé à la ferme ou à la coopérative.
Accroissement de la teneur en protéines des céréales lorsqu'elles sont cultivées avec des légumineuses.	Stockage qui nécessite plus de cellules de stockage (une pour le mélange et une pour les grains de chaque espèce une fois séparés).
Réduction de la pression biotique par des effets de dilution, de barrière ou autres.	Débouchés qui contraignent le choix des espèces à associer en fonction de ce que l'organisme collecteur accepte.
Meilleure valorisation des ressources en phosphore du fait de la complémentarité racinaire et de processus de facilitation en présence d'une légumineuse.	Protection en lien avec le peu de produits phytosanitaires autorisés pour les deux espèces et un désherbage mécanique plus délicat car devant être adapté aux deux espèces.
Diminution du temps de travail en lien avec une réduction des interventions de fertilisation, de désherbage et de protection.	Réglementation car les associations ne sont pas nécessairement reconnues comme des protéagineux (donc non éligible aux primes spécifiques) et les services rendus insuffisamment reconnus.
Accroissement de la biodiversité car plusieurs espèces cultivées ensemble tendent à favoriser les équilibres entre ravageurs et auxiliaires.	Connaissances en lien avec un manque d'expériences, de savoir-faire, d'appuis technique et de références.

Figure 13 • Résultat des votes des participants aux ateliers de la plateforme du Sud-Ouest France, quant aux thèmes de travail sur les associations à prioriser, la taille est proportionnelle au nombre de votes

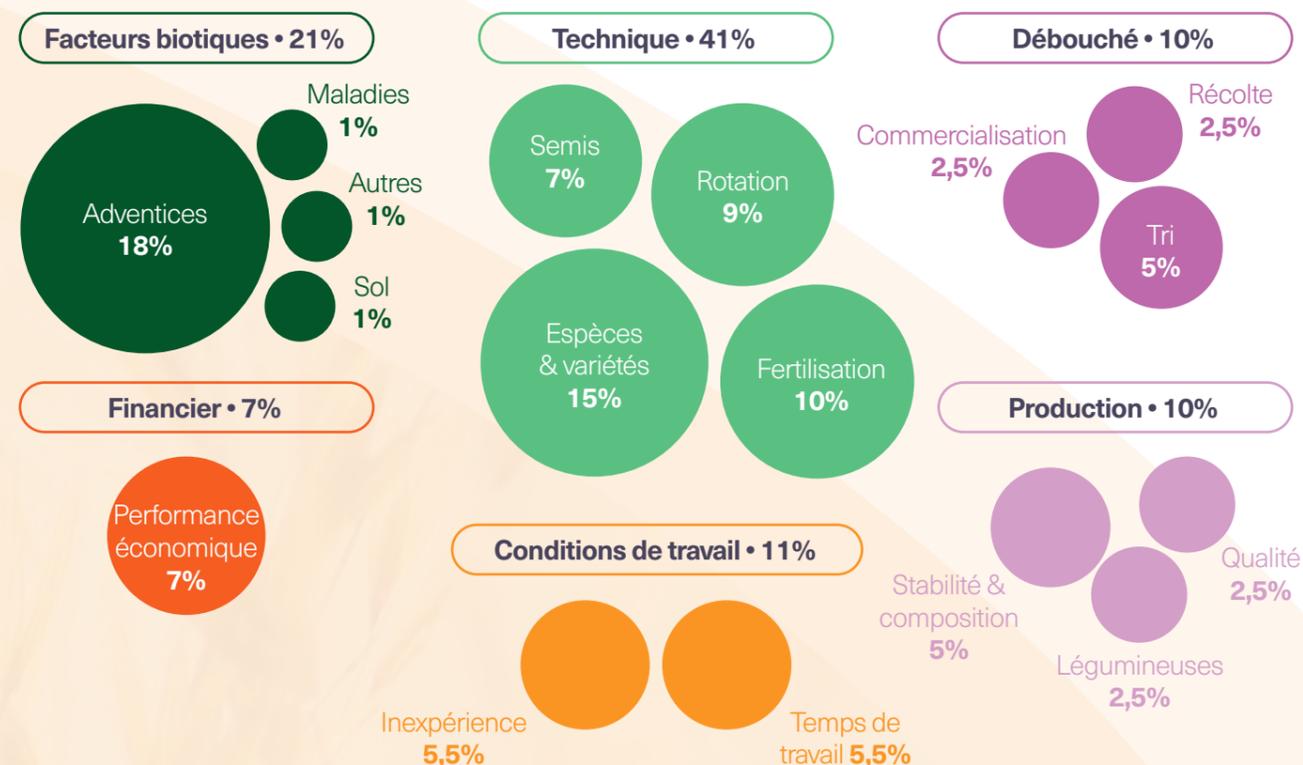


Figure 14 • Exemple d'itinéraires techniques co-conçus lors d'un atelier dans la plateforme multi-acteurs du Sud-Ouest de la France pour produire un blé « de qualité »

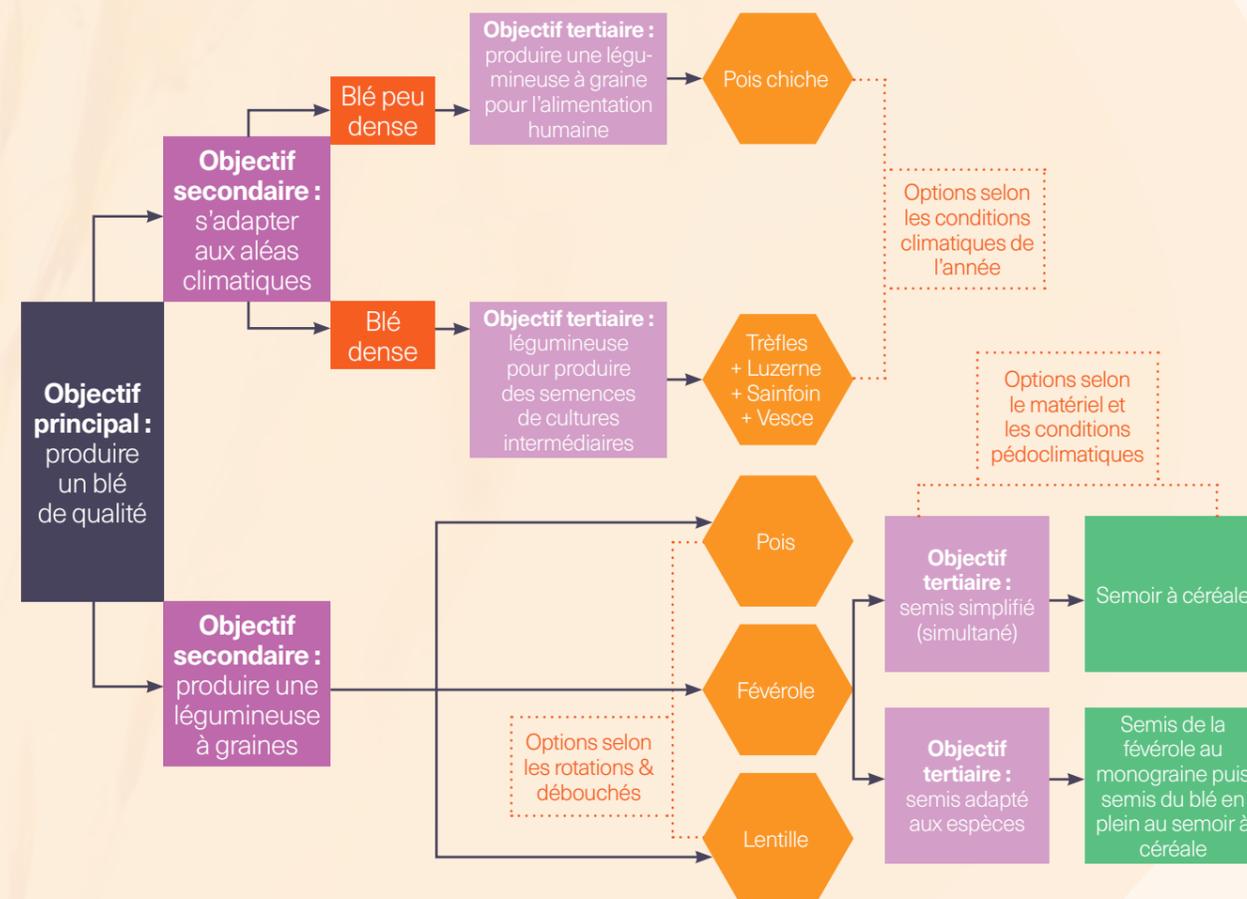


Figure 12 • Exemples de cultures associées pratiquées par les agriculteurs de la plateformes multi-acteurs du Sud-Ouest de la France

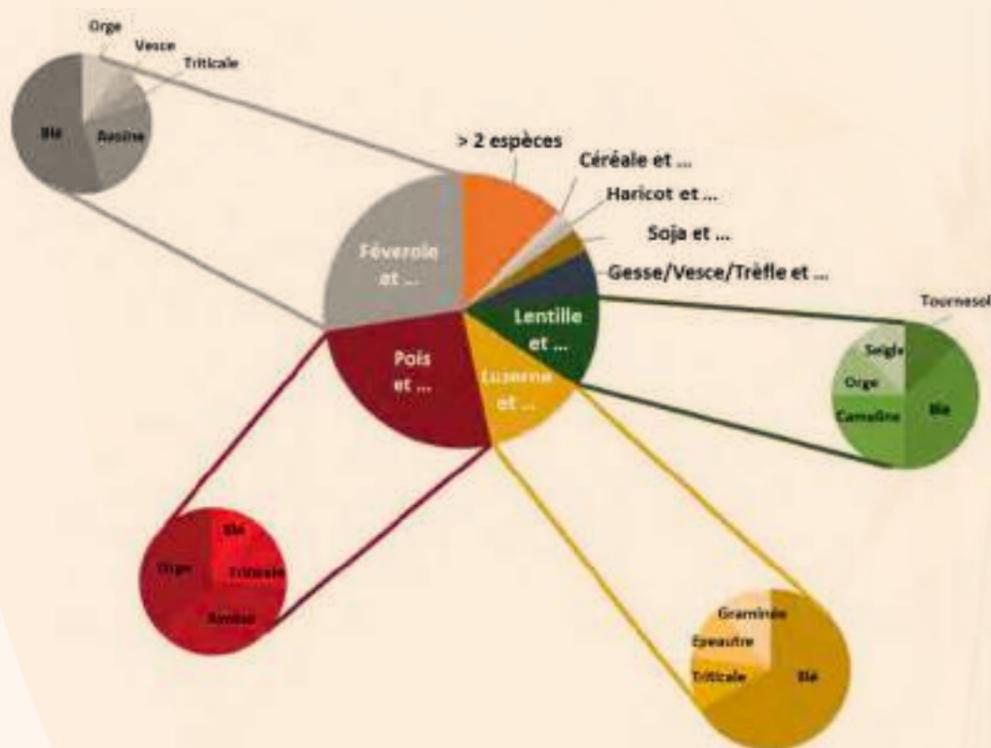


Tableau 2 • Classification des fiches techniques issues d'expériences d'agriculteurs en fonction des espèces, du statut des connaissances, de l'objectif et du débouché

N° fiche	Espèces	Objectif principal	Pays	Typologie	Statut	Produit	Biologique	Tri	Débouché
1	Blé-Féverole	Produire du blé de qualité	France	1	Validée	Grains	Oui	Oui	Humaine et Animale
2	Blé-Féverole	Produire du blé de qualité	France	1	Validée	Grains	Oui	Oui	Humaine et Animale
3	Blé-Féverole	Produire des protéines	Grèce	1	Validée	Grains		Oui	Humaine
4	Blé-Féverole	Produire un aliment complet	Pays-Bas	1	Validée	Grains			Animale
5	Blé-Pois	Produire des protéines	Grèce	1	Validée	Grains		Oui	Humaine
6	Orge-Pois	Sécuriser la production et réduire le temps de travail	France	1	Validée	Grains	Oui	Oui	Humaine et Animale
7	Orge-Pois	Sécuriser la production et contrôler l'enherbement	France	1	Validée	Grains	Oui	Oui	Humaine
8	Orge-Pois	Produire un aliment complet	France	1	Validée	Grains	Oui		Animale
9	Orge-Pois	Produire du pois et contrôler l'enherbement	Suisse	1	Validée	Grains	Oui	Oui	Animale
10	Orge-Lentille	Produire de la lentille en limitant la verse	France	1	A optimiser	Grains	Oui	Oui	Humaine et Animale
11	Orge-Gesse	Produire de la gesse et contrôler l'enherbement	France	1	A optimiser	Grains	Oui	Oui	Humaine et Animale
12	Avoine-Féverole	Produire de l'avoine à moindre coût et nettoyer la parcelle	France	1	Validée	Grains	Oui	Oui	Animale
13	Avoine-Féverole	Produire de la féverole et sécuriser la production	France	1	Validée	Grains	Oui	Oui	Animale
14	Avoine-Féverole	Produire de la féverole et contrôler l'enherbement	Suisse	1	Validée	Grains	Oui	Oui	Animale
15	Avoine-Pois	Contrôler l'enherbement et apporter de l'azote	France	1	A optimiser	Grains	Oui	Oui	Animale
16	Avoine-Lentille	Produire de la lentille	Allemagne	1	A optimiser	Grains	Oui	Oui	Humaine ou Animale
17	Seigle-Vesce	Produire des semences de vesce	Danemark	1	A optimiser	Grains		Oui	Humaine et Animale
18	Triticale-Féverole	Produire du féverole et contrôler l'enherbement	Suisse	1	Validée	Grains	Oui	Oui	Animale
19	2 Céréales-2 Légumineuses	Produire un aliment complet	France	2	Validée	Grains	Oui		Animale
20	3 Céréales-2 Légumineuses	Produire un aliment riche en protéines	France	2	Validée	Grains	Oui		Animale
21	2 Céréales-3 Légumineuses	Produire un fourrage riche en protéines	France	2	Validée	Fourrage	Oui		Animale
22	2 Céréales-2 Légumineuses	Produire un aliment complet	Pays-bas	2	A optimiser	Grains ou Fourrage	Oui		Animale
23	Blé-Féverole	Produire un aliment riche en protéines et contrôler l'enherbement	Pays-Bas	3	Validée	Grains	Oui		Animale
24	Blé-Féverole	Produire un aliment complet et contrôler l'enherbement	Danemark	3	A optimiser	Grains		Oui	Humaine et Animale
25	Blé-Pois	Augmenter la production de protéines dans le fourrage	Pologne	3	Validée	Fourrage			Animale
26	Blé-Pois	Produire un aliment complet	Ecosse	3	Validée	Grains	Oui		Animale
27	Blé-Pois chiche	Sécuriser la production de pois chiche et améliorer la qualité du blé	Espagne	3	A optimiser	Grains	Oui	Oui	Humaine
28	Blé-Lentille	Produire de la lentille en limitant la verse	France	3	Validée	Grains	Oui	Oui	Humaine
29	Blé-Lentille	Sécuriser la production de lentille et améliorer la qualité du blé	France	3	Validée	Grains	Oui	Oui	Humaine
30	Blé-Lentille	Sécuriser la production de lentille et améliorer la qualité du blé	Espagne	3	Validée	Grains	Oui	Oui	Humaine
31	Orge-Pois	Produire du pois et contrôler l'enherbement	Suisse	3	Validée	Grains	Oui	Oui	Animale
32	Orge-Pois	Produire un aliment complet	Ecosse	3	Validée	Grains	Oui		Animale
33	Avoine-Féverole	Produire de la féverole et contrôler l'enherbement	Suisse	3	Validée	Grains	Oui	Oui	Animale
34	Avoine-Lupin	Produire du lupin et contrôler l'enherbement	Suisse	3	Validée	Grains	Oui	Oui	Animale
35	Avoine-Lentille	Produire un fourrage riche en protéines et facile à récolter	Ecosse	3	Validée	Fourrage	Oui		Animale
36	Mais-Haricot	Accroître et stabiliser les rendements	Grèce	3	A optimiser	Grains		Oui	Humaine
37	Cameline-Lentille	Sécuriser la production de lentille et récolter un culture en plus	France	3	A optimiser	Grains	Oui	Oui	Humaine
38	Cameline-Lentille-Lupin	Produire localement des protéines pour l'alimentation humaine	Suisse	3	A optimiser	Grains	Oui	Oui	Humaine et Animale
39	Soja-Sarrasin	Sécuriser la production de soja et contrôler l'enherbement	France	3	A optimiser	Grains	Oui	Oui	Humaine
40	Pois-Féverole	Produire des légumineuses pour l'alimentation animale	Danemark	3	A optimiser	Grains			Animale
41	Mais-Orge	Lutter contre le taupin	France	4	A optimiser	Grains ou Fourrage	Oui		Humaine ou Animale
42	Colza-Légumineuses	Réduire les intrants chimiques	France	4	Validée	Grains			Humaine
43	Colza-Trèfle	Contrôler l'enherbement	France	4	Validée	Grains	Oui		Humaine
44	Triticale-Prairie	Sécuriser l'implantation de la prairie	France	5	A optimiser	Grains et Fourrage	Oui		Animale
45	Prairie-Mélange Céréales/Légumineuses	Sécuriser l'implantation de la prairie	France	5	A optimiser	Fourrage	Oui		Animale
46	Soja-Blé	Produire deux cultures en relais	Danemark	5	A optimiser	Grains			Humaine ou Animale
47	Epeautre-Trèfle	Protéger et couvrir le sol après la récolte	France	6	Validée	Grains et Fourrage	Oui		Humaine et Animale
48	Blé-Luzerne	Protéger et couvrir le sol après la récolte	Danemark	7	A optimiser	Grains et Fourrage			Animale
49	Mais-Trèfle	Produire du maïs en limitant l'érosion et l'enherbement	France	7	A optimiser	Grains	Oui		Animale
50	Mélange Céréales/Légumineuses-Luzerne	Augmenter la production et la qualité du fourrage	France	7	Validée	Fourrage	Oui		Animale
51	Tournesol-Trèfle	Produire du tournesol en limitant l'érosion et l'enherbement	France	7	A optimiser	Grains	Oui		Humaine
52	Orge-Pois-Trèfle	Produire un aliment complet et protéger le sol après la récolte	Danemark	7	A optimiser	Grains			Animale

2. De la traque à la co-conception

Tableau 3 • Classification des fiches techniques issues d'expériences d'agriculteurs en fonction des espèces

		L É G U M I N E U S E S											AUTRES	
		FÉVÉROLE	GESSE	HARICOT	LENTILLE	LUPIN	LUZERNE	POIS	POIS CHICHE	SOJA	TRÈFLE	VESCE		MÉLANGE
18	AVOINE	12 • 13 • 14 • 33			16 • 35	34		15						
	BLÉ	1 • 2 • 3 • 4 • 23 • 24			28 • 29 • 30		48	5 • 25 • 26	27	46				
	CAMELINE				37								38	
	COLZA										43		42	
	ÉPEAUTRE										47			
	MAÏS			36							49			41
	ORGE		11		10			6 • 7 • 8 • 9 • 31 • 32					52	
	SARRASIN									39				
	SEIGLE											17		
	TOURNESOL										51			
	TRITICALE	18												44
	MÉLANGE												19 • 20 • 21 • 22	
AUTRES		40					50						45	

03

Fiches techniques agriculteurs

Au-delà de ces aspects, la pratique des cultures associées étant encore peu répandue, il nous semblait important de permettre le partage d'expériences entre agriculteurs, qu'ils soient ou non novices dans la pratique des cultures associées.

Ainsi, sur la base des résultats de la traque aux innovations et des essais réalisés chez les agriculteurs dans les différentes plateformes multi-acteurs du projet **ReMIX**, nous avons élaboré 52 fiches techniques issues d'expériences d'agriculteurs dans différents contextes (chaque fiche compile une à trois expériences).

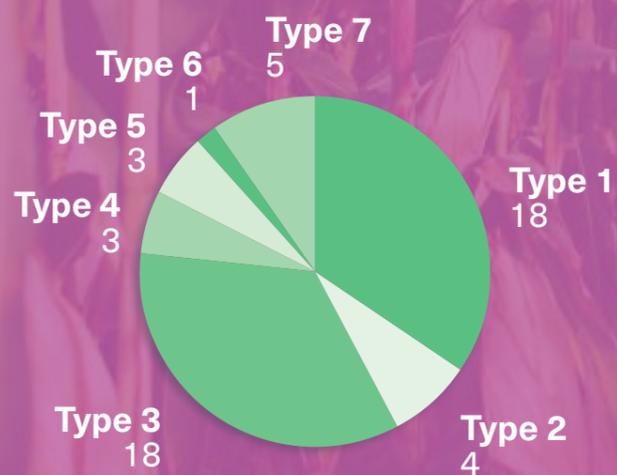
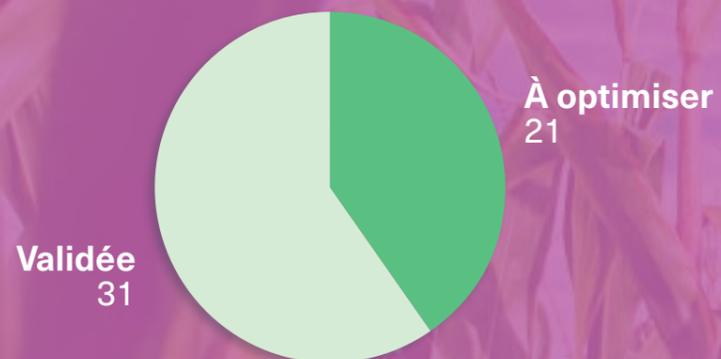
Compte tenu de la diversité des attentes des agriculteurs et des situations d'exercice de l'agriculture, il nous semblait inapproprié de proposer des itinéraires techniques «types» de cultures associées à suivre à la lettre. En effet, comme nous l'avons observé, notamment au cours de la traque, pour une même combinaison d'espèces, plusieurs itinéraires techniques peuvent être mis en œuvre selon les objectifs visés et les contextes des agriculteurs. C'est pourquoi, dans ces situations, plusieurs fiches sont présentées (une par

expérience). En revanche, lorsque les itinéraires techniques proposés par les agriculteurs étaient relativement similaires, nous avons, à partir des retours d'expérience de ces derniers, reconstitué des itinéraires techniques types et *a priori* performants dans différents contextes.

In fine, nous avons classé ces fiches techniques issues d'expériences d'agriculteurs en deux catégories selon l'état des connaissances (**Tableau 2** et **Tableau 3**) :

- **«VALIDÉE»** lorsque plusieurs agriculteurs ont fait un retour satisfaisant et que ces associations sont connues de la recherche pour fonctionner dans différents contextes.
- **«À OPTIMISER»** lorsque l'association n'a été testée qu'une seule fois et que le retour d'expérience est positif mais nécessite une confirmation.

52 fiches techniques issues d'expériences d'agriculteurs



Espèce A + Espèce B

Nom latin / Détail de la composition si plusieurs espèces

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



Nom de la structure

Carte avec localisation géographique de l'exploitation

Objectifs : produire un blé de qualité

Diversifier l'assolement avec de la féverole et rompre le cycle des maladies

Faire face aux aléas climatiques en assurant une production (récolte d'au moins une culture)

France

Climat océanique dégradé (700-800 mm/an)
T moyenne annuelle min 7,7°C / max : 18,7°C

Sol argilo-calcaire OU argilo-limoneux

DÉBOUCHÉS

Destination de la récolte : vente ou autoconsommation

Utilisation de la production : alimentation humaine, animale, ou aucune (plante de service)

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Points positifs : avantages apportés par la culture / satisfaction par rapport aux objectifs, etc.



Remarques neutres : observations qui ne sont ni des points positifs ni des points négatifs



Points négatifs : difficultés / problèmes rencontrés / insatisfaction par rapport aux objectifs, etc.

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Après avoir identifié les points positifs et négatifs de cette association, l'agriculteur a pu émettre des conseils ou des recommandations pour améliorer la conduite de la cultures (date de semis, densité de semis, variété, travail du sol, etc.)

Type 1 (n=18)

Mélange de deux cultures de rente d'hiver semées et récoltées simultanément

24

ITINÉRAIRE TECHNIQUE

1. Préparation du sol

Outils et profondeur de travail du sol

2. Semis

Outils, type de semis (en mélange sur le rang, ou intercalé), profondeur de semis, écartement entre les rangs, densité en kg/ha (densité en pourcentage par rapport à un semis pur)

3. Entretien

Fertilisation
Désherbage
Irrigation

4. Récolte

Type de récolte (moisson, fauche,...)
Réglages particuliers

5. Tri

Lieu de tri (ferme, coopérative)
Type de trieur

Semis : novembre

simultané décalé

Récolte : début juillet

simultanée décalée

Blé + Féverole

Triticum aestivum + Vicia faba

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



INRAE

Photo : L. Bedoussac

Objectifs : produire un blé de qualité

Diversifier l'assolement avec de la féverole et rompre le cycle des maladies

Faire face aux aléas climatiques en assurant une production (récolte d'au moins une culture)

France

Climat océanique dégradé (700-800 mm/an)
T moyenne annuelle min 7,7°C / max : 18,7°C

Sol argilo-calcaire OU argilo-limoneux

1. Préparation du sol

Option 1 :

cover crop + déchaumeur + vibroculteur

Option 2 :

préparation superficielle + décompacteur + préparation superficielle

2. Semis

Semis en mélange sur le rang au semoir à céréale avec herse rotative ou au vibrosemoir, à 2-3 cm de profondeur, et avec 12.5 cm d'inter-rang.

Blé à 150-200 kg/ha (100 % de la culture pure) et féverole à 50-60 kg/ha (30-60 % de la culture pure)

3. Entretien

Fertilisation : 50 unités d'azote organique ou fumier/fiente

Pas de désherbage

Pas d'irrigation

4. Récolte

Moissonneuse axiale avec ouverture du batteur, et un réglage plus doux que blé, blé en surmaturité

5. Tri

À la ferme

Semis : novembre

simultané décalé

Récolte : début juillet

simultanée décalée

ITINÉRAIRE TECHNIQUE

26

Blé + Féverole

Triticum aestivum + Vicia faba

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



INRAE

Photo : L. Bedoussac

Objectifs : produire un blé de qualité

Diversifier l'assolement avec de la féverole et rompre le cycle des maladies

Faire face aux aléas climatiques en assurant une production (récolte d'au moins une culture)

France

Climat océanique dégradé (640-700 mm/an)
T moyenne annuelle min 8,5°C / max 18,7°C

Sol argilo-calcaire OU sablo-argileux

1. Préparation du sol

Option 1 :

déchaumeur + cultivateur

Option 2 :

charrue déchaumeuse + herse rotative + vibroculteur

2. Semis

Semis en deux passages en rangs intercalés, à 14-15 cm d'inter-rang.

Blé au semoir à céréales, à 2-3 cm de profondeur, et à 130-200 kg/ha (65-100 % de la culture pure)

Féverole à l'épandeur à rampe ou au semoir monograine, à 4-5 cm de profondeur, et à 80-90 kg/ha

3. Entretien

50-80 unités d'azote organique

Désherbage : écrouteuse ou aucun

Pas d'irrigation

4. Récolte

Moissonneuse axiale réglée sur « féverole »

5. Tri

À la coopérative

Semis : novembre ou janvier

simultané décalé

Récolte : fin juin - début juillet

simultanée décalée

ITINÉRAIRE TECHNIQUE

27

DÉBOUCHÉS

Blé et féverole vendus séparément à une coopérative

(le blé pour l'alimentation humaine et la féverole pour l'alimentation animale)

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Bon taux de protéine du blé (12% sur une mauvaise année)

Parcelle relativement propre

Moins de rouille sur la féverole en association qu'en culture pure

Blé à paille haute au dessus de la féverole
3-3,5 t/ha au total dont 0,8-1 t/ha de féverole



Proportion blé-féverole peu importante car faible différence de rémunération



Préparation du mélange au semis plus longue et tri à la récolte nécessaire

Féverole très haute qui a pris le dessus sur le blé à paille courte (environ 30 cm au dessus)

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Le trieur optique permet d'assurer un bon triage

Semer la féverole un peu plus en profondeur (4-5 cm) pour améliorer son implantation

Augmenter la proportion de la variété de blé à paille haute pour résister à la concurrence de la féverole

Privilégier une moissonneuse axiale pour limiter la casse de la féverole à la récolte

Choisir un blé qui se dépique facilement et qui ne germe pas sur pied en cas de décalage de maturité avec la féverole

DÉBOUCHÉS

Blé et féverole vendus séparément à une coopérative (le blé pour l'alimentation humaine et la féverole pour l'alimentation animale)

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Le rendement du blé ne semble pas plus faible qu'en culture pure

Bon fonctionnement de l'épandeur à rampe pour le semis de féverole (semoir à disque également possible)

Prix du blé et de la féverole à peu près équivalent donc proportion du mélange peu importante

Rendement global satisfaisant (3 t/ha)



Féverole quasi absente dans le cas d'un semis tardif en raison de la sécheresse mais compensée partiellement par la production de blé

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Semer les deux espèces sur des rangs distincts permet de mieux contrôler la compétition entre les deux espèces (dans le cas d'une féverole très développée les plantes se concurrencent entre elles avant de concurrencer le blé)

Semer en deux passages est préférable car les graines ont tendance se trier dans le semoir quand on les mélange

Risque de gel de la féverole s'il fait trop froid nécessitant un semis suffisamment profond

Blé + Féverole

Triticum aestivum + Vicia faba

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



Photo : C. Panikou

Objectifs : produire des protéines pour l'alimentation humaine

Augmenter la teneur en protéines du grain de blé sans aucun engrais et produire des féveroles qui sont importantes pour les pays méditerranéens.

Objectifs secondaires :

Fixation de l'azote et réduction des intrants.

Grèce

Climat méditerranéen (440 mm/an)
T moyenne annuelle min 9,2 °C / max 20,8°C

Sol limoneux

DÉBOUCHÉS

Blé de haute qualité ou de boulangerie

Féverole destinée à la consommation humaine mais avec un risque de contamination par le gluten

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Bénéfices environnementaux avec une moindre utilisation d'engrais et d'herbicides

Possible valeur ajoutée en raison de la plus grande quantité de protéines

Possible réduction de l'utilisation d'engrais N pour la culture suivante

L'enherbement des légumineuses est réduit avec les cultures associées

Bonne implantation et maturité similaire des deux espèces



Pas de différence d'infestation par les bruches de la féverole par rapport à la culture pure



Une des difficultés concerne la séparation des grains.

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Succès : baisse de la verse due à la féverole

Risque : difficulté de séparation des grains

Risque : l'infestation extensive par les bruches peut être un problème pour la féverole

ITINÉRAIRE TECHNIQUE

1. Préparation du sol

Travail du sol conventionnel en novembre

2. Semis

Semis dans la première semaine de décembre, à raison de 50% pour les deux espèces

3. Entretien

Pas de fertilisation

Application d'herbicide (pentiméthaline) en décembre (inférieure à celle de la sole céréalière)
Application d'insecticide contre le bruche en avril

Désherbage manuel en mars et avril

4. Récolte

Récolte simultanée au début du mois de juin pour réduire les pertes dues à la verse

5. Tri

Séparation après la récolte

Semis:

- simultané
- décalé

Récolte:

- simultanée
- décalée

Blé + Féverole

Triticum aestivum + Vicia faba

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



Photo : B. Luske

Objectifs : produire un aliment complet

Apporter protéines et énergie pour les vaches laitières

Sécuriser la production d'aliments pour animaux

Réduire les coûts

Produire un lait de haute qualité grâce à la gestion de la production et de la ration alimentaire des animaux

Pays-Bas

Climat maritime (760 mm/an)
T moyenne annuelle min 6,1°C / max 13,6°C

Sol argileux lourd et sableux (situé à la transition)

DÉBOUCHÉS

Le mélange récolté est utilisé dans la ration alimentaire pour fournir protéines et énergie

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Les producteurs de fraises de la région louent leurs terres à l'agriculteur pour régénérer le sol avec le mélange de cultures

L'agriculteur sait exactement ce que mangent les vaches ce qui permet une qualité de lait élevée

Les cultures arables permettent de réduire les coûts d'achat des aliments pour animaux



Le mélange de cultures est une utilisation des terres arables et les producteurs laitiers ne peuvent utiliser que 20 % de leurs terres pour les cultures arables (réglementation de la PAC)

L'auto-production demande un travail supplémentaire

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Le mélange de cultures est utilisé pour réduire les risques, car la ferme est située sur différents types de sols (argile lourde et sable).

Une association de cultures permet de récolter toujours quelque chose, mais la proportions de chaque espèce diffère selon le type de sol et la saison

ITINÉRAIRE TECHNIQUE

1. Préparation du sol

Semis à 6 cm de profondeur
Blé à 50 kg/ha et féverole à 150 kg/ha

2. Semis

35 t/ha de fumier de cochons et 2-5 L d'engrais pour feuilles
Désherbants Stomp, Challenge et Basagran

3. Entretien

Moisson simultanée
Rendement : 5,4-9 t/ha dont 15-50 % de soja (en moyenne 24,4 % de protéines brutes)

4. Récolte

Concassage et broyage avec broyeur à marteaux, stockage en silos tranchées

5. Tri

La ration alimentaire est affinée et mélangée à d'autres ressources alimentaires

Semis: novembre ou janvier

- simultané
- décalé

Récolte: fin juin - début juillet

- simultanée
- décalée

Blé + Pois

Triticum aestivum + Pisum sativum

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



ARISTOTLE UNIVERSITY OF THESSALONIKI

Photo : C. Panikou

Objectifs : produire des protéines pour l'alimentation humaine

Obtenir des rendements plus élevés et plus stables dans les pays méditerranéens

Fixer l'azote pour la prochaine culture

Augmenter le taux de protéines du blé de meunerie

Grèce

Climat méditerranéen (440 mm/an)
T moyenne annuelle min 9,2 °C / max 20,8 °C

Sol limoneux

DÉBOUCHÉS

Blé de haute qualité ou de boulangerie

Pois destiné à la consommation humaine mais avec un risque de contamination par le gluten

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Avantages environnementaux grâce à une utilisation moindre d'engrais et d'herbicides

Possibilité de produire un produit à valeur ajoutée grâce à une teneur plus élevée en protéines

Réduction possible de l'utilisation d'engrais azotés pour la culture suivante

L'association permet d'éviter la verse de la légumineuse

Bon établissement et date de maturité similaire des deux espèces



Aucune différence dans l'infestation par les bruches entre les cultures de pois pures et les cultures associées



Une des difficultés concerne la séparation des grains

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Risque : difficultés de séparation de grains

Risque : une infestation importante de bruches peut être un problème pour les pois

Semis : début décembre

simultané décalé

Récolte : début juin

simultanée décalée

Orge + Pois

Hordeum vulgare + Pisum sativum

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



INRAE

Photo : L. Bedoussac

Objectifs : sécuriser la production

Sécuriser la production en récoltant au moins une des deux espèces

Dégager une marge sans demander trop de travail

France

Climat océanique dégradé (800 mm/an)
T moyenne annuelle min 7,4 °C / max 18,5 °C

Sol sableux, compacté

1. Préparation du sol

Décompactage en septembre et deux préparations superficielles

2. Semis

Semis en mélange sur le rang, à 2-3 cm de profondeur, et à 12.5 cm d'inter-rang.
Orge à 120 kg/ha (80 % de la culture pure) et pois à 80 kg/ha (80 % de la culture pure)

3. Entretien

Pas de fertilisation
Pas de désherbage
Pas d'irrigation

4. Récolte

Moisson simultanée fin juin - début juillet

5. Tri

À la ferme (trieur rotatif)

DÉBOUCHÉS

Orge et pois vendus séparément à a coopérative (orge pour l'alimentation humaine et pois pour l'alimentation animale)

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Le pois permet de maintenir une bonne fertilisation azotée du sol

Le tri est relativement simple

Proportion variable selon les zones (peu de pois dans les zones riches en azote et inversement dans les zones pauvres en azote)

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Prendre en compte le type de précédent pour gérer correctement la fertilisation et la proportion des espèces

Bien mélanger les deux espèces avant de les semer

Semis : mi-novembre

simultané décalé

Récolte : fin juin - début juillet

simultanée décalée

Orge + Pois

Hordeum vulgare + Pisum sativum

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



INRAE

Photo : L.Bedoussac

Orge + Pois

Hordeum vulgare + Pisum sativum

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



INRAE

Photo : L.Bedoussac

Objectifs : sécuriser la production

- Gérer le salissement de la parcelle
- Avoir un bon précédent pour la culture suivante
- Eviter la verse du couvert

France

Climat océanique dégradé (730 mm/an)
T moyenne annuelle min 8,1°C / max 18,7°C
Sol argilo-calcaire

DÉBOUCHÉS

Pois vendu en alimentation humaine (pois cassé) et orge brassicole vendue en alimentation humaine si elle n'est pas trop riche en protéines sinon, vendue en alimentation animale

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



L'association semble limiter la verse des deux espèces

Peu de fenêtre pour passer la herse étrille, donc pas de désherbage mécanique, mais parcelle propre donc pas nécessaire

Hétérogénéité dans la parcelle qui prouve une bonne utilisation des ressources

Bon rendement



Le pois très mûr et cassant complique le tri

L'association de l'orge avec du pois augmente son taux protéique

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Alloter les parcelles à la récolte et après le tri en fonction des taux de protéines pour accroître le débouché en orge brassicole

Objectifs : produire un aliment complet

Produire un mélange équilibré de pois et d'orge afin d'apporter à la fois de l'énergie et des protéines au fourrage

France

Climat océanique dégradé (640-730 mm/an)
T moyenne annuelle min 8,4°C / max 18,7°C
Sol sablo-argileux OU limono-sableux

1. Préparation du sol

Déchaumage à 10 cm et labour à 20 cm

2. Semis

Option 1 : semis en mélange sur le rang

Option 2 : en 2 passages le même jour en rangs intercalés
Semis au semoir à céréales avec herse rotative, à 2-3 cm de profondeur, et à 12.5-14 cm d'inter-rang.

Orge à 80-120 kg/ha (60-85 % de la culture pure) et pois à 40-100 kg/ha (20-50 % de la culture pure)

3. Entretien

Désherbage : herse étrille ou aucun
Pas de fertilisation
Pas d'irrigation

4. Récolte

Moissonneuse avec vitesse de battage réduite à et ouverture de la grille arrière

5. Tri

Pas de tri

DÉBOUCHÉS

Grains autoconsommés ou vendus à une coopérative pour l'alimentation animale

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



L'orge permet de limiter la verse du pois

Rendement d'environ 5 t/ha



Pour l'agriculteur ayant un précédent luzerne-brome, il y a plus de luzerne sur la partie non labourée mais pas cela n'a de conséquences sur le rendement



La chaleur en fin de cycle a provoqué l'ouverture des gousses de pois

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

La grêle peut endommager la récolte de pois

La densité de pois doit être suffisante pour résister à la concurrence de l'orge (70 kg/ha environ)

Mélange des semences long et fastidieux donc semis en deux passages envisageable

Un pré-nettoyage avec un séparateur pourrait être intéressant pour limiter les impuretés avant la vente du mélange

La présence de pois attire les sangliers

Passage de herse étrille possible avant l'apparition des vrilles mais peu de fenêtres disponibles

Semis : mi-novembre

simultané décalé

Récolte : fin juin

simultanée décalée

Semis : fin octobre - début nov

simultané décalé

Récolte : début juillet

simultanée décalée

Pois + Orge

Pisum sativum + Hordeum vulgare

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



FiBL



Photo : M. Klais

Objectifs : produire du pois et contrôler l'enherbement

- Contrôler les adventices
- Réduire la verse du pois

Suisse

Climat continental (précipitations annuelles moyennes : 780 mm/an) * Moyenne annuelle des températures min 1°C / max 22,4°C

Sol limoneux argileux

DÉBOUCHÉS

Destination de la récolte : vente

Utilisation de la production : alimentation animale

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Proportion élevée de pois à la récolte

Pas de verse

Bon contrôle des adventices



La proportion de pois à la récolte peut être variable selon les conditions de croissance

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

La date de semis doit être après le 15 octobre pour éviter que le pois ne soit trop vigoureux à l'entrée de l'hiver et qu'il ne passe pas correctement

Semez assez profondément, autour de 5 ou 6 cm, pour éviter les dommages causés par les gels et dégels durant l'hiver

Des conditions très humides ou de fort gel (>-12°C) sont néfastes pour le pois

Les sols riches en azote favorisent les céréales au détriment du pois

Lentille + Orge

Lens culinaris + Hordeum vulgare

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



INRAE



Photo : L. Bedoussac

Objectifs : produire de la lentille

Limiter la verse de la lentille au moyen d'une espèce associée faisant office de tuteur et qui soit valorisable

France

Climat océanique dégradé (800 mm/an)
T moyenne annuelle min 7,4°C / max 18,5°C

Sol argileux

DÉBOUCHÉS

Lentille et orge vendues séparément à une coopérative (lentille pour l'alimentation humaine et orge pour l'alimentation animale)

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



L'orge est très couvrante et bien développée sur la partie de la parcelle qui a été décompactée

La lentille est très haute et n'a pas versé

Rendement total d'environ 3 t/ha dont 0,75 t/ha de lentille

Sur la partie compactée il y a plus de lentille et moins d'orge



Pas d'effet sur les bruches par rapport à la culture pure



L'orge est carencée en azote

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Risque de gel de la lentille mais qui servira dans ce cas d'engrais vert à l'orge et couvrira le sol pour limiter le développement des adventices

L'orge a beaucoup tallé. Possibilité d'utiliser à la place un blé qui ne talle pas

Le semis de la lentille en automne fonctionne mais de la vesce sauvage se développe et il est alors impossible de trier les graines de lentille. Possibilité de semer cette association au printemps

ITINÉRAIRE TECHNIQUE

1. Préparation du sol

Déchaumage, labour à 20 cm, puis reprise avec un outil à dents

2. Semis

Semis en mélange sur le rang, au semoir conventionnel, à 2-3 cm de profondeur, et à 17,5 cm d'inter-rang.
Orge à 80 kg/ha et pois à 120 kg/ha

3. Entretien

Pas de désherbage
Pas de fertilisation
Pas d'irrigation

4. Récolte

Moissonneuse axiale avec une coupe flexible, réglée sur le pois pour ne pas le casser

5. Tri

À la ferme
(trieur JK-machinery)

Semis: mi-octobre

simultané décalé

Récolte: début juillet

simultanée décalée

ITINÉRAIRE TECHNIQUE

1. Préparation du sol

Décompactage en septembre, et deux préparations superficielles

2. Semis

Semis en mélange sur le rang, à 2-3 cm de profondeur, et à 12 cm d'inter-rang.
Lentille à 100 kg/ha (90 % de la culture pure) et orge à 50 kg/ha (60 % de la culture pure)

3. Entretien

Pas de fertilisation
Pas de désherbage
Pas d'irrigation

4. Récolte

Moisson simultanée fin juin - début juillet

5. Tri

À la ferme
(trieur à plaque et trieur optique)

Semis: mi-novembre

simultané décalé

Récolte: fin juin - début juillet

simultanée décalée

Orge + Gesse

Hordeum vulgare + Lathyrus sativus

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



INRAE

Photo : L. Bedoussac

Objectifs : produire de la gesse

Limiter le salissement de la gesse
Eviter la verse de la gesse avec une plante tuteur qui soit valorisable

France

Climat océanique dégradé (700 mm/an)
T moyenne annuelle min 7,9°C / max 18,9°C
Sol argilo-calcaire

1. Préparation du sol

2 passages de déchaumeur gascon à 5-10 cm

2. Semis

Semis en mélange sur le rang, au semoir à blé avec herse alternative, à 3 cm de profondeur.
Orge à 180 kg/ha (100 % de la culture pure)
et gesse à 60 kg/ha (35 % de la culture pure)

3. Entretien

23 m³/ha de lisier
Pas de désherbage
Pas d'irrigation

4. Récolte

Moisson simultanée fin juillet

5. Tri

A la ferme
(trieur Denis à plaque)

Semis: mi-octobre

- simultané
- décalé

Récolte: fin juillet

- simultanée
- décalée

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Il faut bien équilibrer les densités de semis pour éviter que la gesse ne verse

Les proportions orge/gesse sont très variables selon les conditions pédoclimatiques

DÉBOUCHÉS

Orge vendue à une coopérative pour l'alimentation animale
Gesse vendue à un magasin de détail pour l'alimentation humaine ou à des éleveurs en tant que semences

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Bon tallage de la gesse

Rendement de 4 t/ha dont 0,4 t/ha de gesse

La gesse verse moins qu'en pur ce qui permet une récolte propre

L'orge se dépique facilement à la récolte

La parcelle est relativement propre



Verse du couvert du fait d'un semis trop dense de la gesse



La culture a manqué d'eau

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Le tri doit s'effectuer en plusieurs fois malgré des tailles de graines assez différentes entre avoine et féverole

Avoine + Féverole

Avena sativa + Vicia faba

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



INRAE

Photo : R. Charles

Objectifs : produire de l'avoine à moindre coût et nettoyer la parcelle

Produire de l'avoine à moindre frais
Nettoyer la parcelle en couvrant le sol

France

Climat océanique dégradé (800 mm/an)
T moyenne annuelle min 7,4°C / max 18,5°C
Sol hydromorphe, terre noire collante

1. Préparation du sol

Deux passages de déchaumeur à dents à 15 cm, puis un passage de vibroculteur à 5-10 cm

2. Semis

Semis en mélange sur le rang, à 2-3 cm de profondeur, et à 12,5 cm d'inter-rang.
Avoine à 100 kg/ha (100 % de la culture pure)
et féverole à 50 kg/ha (25 % de la culture pure)

3. Entretien

Pas de désherbage
Pas de fertilisation
Pas d'irrigation

4. Récolte

Moisson simultanée début juillet

5. Tri

A la ferme
(trieur à plaque et trieur optique)

Semis: mi-octobre

- simultané
- décalé

Récolte: début juillet

- simultanée
- décalée

DÉBOUCHÉS

Avoine vendue à un éleveur pour des semences
Féverole vendue pour l'alimentation animale ou pour des semence

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



L'association permet d'apporter de la diversité et la féverole fournit de l'azote



L'association n'a pas permis de limiter les folles avoines

La féverole a la même hauteur que les folles avoines rendant l'écimage impossible

Avoine + Féverole

Avena sativa + Vicia faba



INRAE

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



Objectifs : produire de la féverole

Assurer un rendement global correct même si le rendement de la féverole est faible
Avoir un bon précédent pour le blé suivant

France

Climat océanique dégradé (700 mm/an)
T moyenne annuelle min 7,9°C / max 18,9°C
Sol argilo-calcaire

1. Préparation du sol

Un passage de déchaumeur gascon à 5-10 cm, apport de 7-8 t/ha de fumier de bovin composté, puis un passage de déchaumeur à 15 cm

2. Semis

Semis en mélange sur le rang, au semoir à céréales, et à 3-4 cm de profondeur.
Avoine à 80 kg/ha (50 % de la culture pure) et féverole à 100 kg/ha (75 % de la culture pure).
Puis passage de herse rotative

3. Entretien

Pas de désherbage
Pas de fertilisation
Pas d'irrigation

4. Récolte

Moissonneuse réglée sur « féverole »

5. Tri

A la ferme (trieur à plaque)

ITINÉRAIRE TECHNIQUE

Semis: mi-octobre
 simultané décalé

Récolte: fin juillet
 simultanée décalée

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Privilégier une variété de féverole tolérante aux maladies

DÉBOUCHÉS

Avoine et féverole vendues séparément à une coopérative pour être triées et vendues en alimentation animale

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Moins de maladies qu'en culture pure car densité plus faible
Rendement global (3 t/ha) équilibré malgré une parcelle assez hétérogène
Pas de problème de gel pour l'avoine



Féverole attaquée par la rouille et l'anthraxose

Féverole + Avoine

Vicia faba + Avena sativa



FiBL

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



Objectifs : produire de la féverole et contrôler l'enherbement

Contrôler les adventices
Réduire la verse de la féverole

Suisse

Climat continental (précipitations annuelles moyennes : 780 mm/an) * Moyenne annuelle des températures min 1°C / max 22.4°C
Sol limoneux argileux

1. Préparation du sol

Deux passages de déchaumeur à dents à 15 cm, puis un passage de vibroculteur à 5-10 cm

2. Semis

Semis en mélange sur le rang, à 2-3 cm de profondeur, et à 12.5 cm d'inter-rang.
Avoine à 100 kg/ha (100 % de la culture pure) et féverole à 50 kg/ha (25 % de la culture pure)

3. Entretien

Pas de désherbage
Pas de fertilisation
Pas d'irrigation

4. Récolte

Moisson simultanée début juillet

5. Tri

A la ferme (trieur à plaque et trieur optique)

ITINÉRAIRE TECHNIQUE

Semis: mi-octobre
 simultané décalé

Récolte: début août
 simultanée décalée

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Afin d'éviter les dommages causés par le gel sur les féveroles, il est recommandé de semer assez profondément et pas trop tôt en octobre
L'avoine lutte mieux contre les mauvaises herbes que les autres céréales, mais présente l'inconvénient d'être moins résistante à l'hiver que le triticale
Les sols riches en azote favorisent les céréales au détriment de la féverole

DÉBOUCHÉS

Destination de la récolte : vente
Utilisation de la production : alimentation animale

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Proportion élevée de féverole à la récolte
Pas de verse



75% de l'avoine a disparu durant l'hiver

Photo : M. Klais

Photo : R. Charles

Avoine + Pois

Avena sativa + Pisum sativum

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



INRAE



Photo : L. Bedoussac

Lentille + Avoine

Lens culinaris + Avena sativa

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



INRAE
UNIVERSITÉ
AGRICULTURE
SCIENCE



Photo : M. Clerc

Objectifs : contrôler l'enherbement et apporter de l'azote

Gérer le salissement du pois par l'avoine
Enrichir le sol en azote grâce au pois

France

Climat océanique dégradé (712 mm/an)
T moyenne annuelle min 8,4°C / max 18,5°C
Sol argileux et hydromorphe

DÉBOUCHÉS

Avoine et pois vendus en mélange à une coopérative pour être triés et vendus en alimentation animale

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Couvert dense et haut limitant le développement des adventices (hormis des folles avoines) et ne nécessitant pas de désherbage mécanique (dont les fenêtres de passages sont limitées)

Culture nécessitant peu de temps de travail

Récolte facile car l'avoine se bat facilement évitant de casser le pois



Le gel a peut-être impacté le nombre de gousses du pois

Proportion des espèces déséquilibrée

Décalage de maturité (avoine mûr quand les dernières gousses de pois sont encore vertes)

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Existe-t-il un effet allélopathique de l'avoine notamment sur les folles avoines ?

Nécessité d'avoir une coopérative qui accepte de collecter le mélange

Privilégier un pois protéagineux dont la maturité est proche de celle de l'avoine

Objectifs : produire de la lentille

Produire de la lentille de qualité (principale culture de rente)
Produire de l'avoine comme fourrage

Allemagne

Climat continental (785 mm/an) T moyenne annuelle min 4,2°C / max 12,9°C
Sol calcaire

DÉBOUCHÉS

Lentille vendue pour l'alimentation (vente locale)
Avoine vendue en dehors de l'exploitation ou autoconsommée

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



La lentille a moins versé, permettant une récolte plus facile

Moins d'adventices



Nécessité d'une technologie de séparation qui n'est généralement pas disponible dans les exploitations

La lentille est en général une culture difficile

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Les rendements des lentilles connaissent de fortes fluctuations

Une faible densité de semis et des variétés d'avoine courtes sont recommandées pour limiter la concurrence contre la lentille

Il faut organiser la séparation, soit dans l'exploitation agricole, soit sous forme de service

Privilégier une moissonneuse étroite pour permettre une coupe basse, car les graines de lentilles sont peu nombreuses

1. Préparation du sol

Deux passages de disque après la récolte du précédent, et un passage de herse rotative avant semis

2. Semis

Semis en mélange sur le rang, à 4 cm de profondeur, et à 17 cm d'inter-rang.
Avoine à 100 kg/ha (70 % de la culture pure) et pois à 100 kg/ha (100 % de la culture pure)

3. Entretien

Pas de désherbage
Pas de fertilisation
Pas d'irrigation

4. Récolte

Réglage du batteur un peu plus lent et moins serré que pour une avoine afin de ne pas casser le pois

5. Tri

À la coopérative

Semis : début novembre

simultané décalé

Récolte : juillet

simultanée décalée

1. Préparation du sol

Lit de semence fin, enlever les pierres

2. Semis

Semis à 4 cm de profondeur.
Avoine à 35 kg/ha et lentille à 55 kg/ha

3. Entretien

Binage cinq jours après le semis (les lentilles sont vulnérables lors de la levée)

4. Récolte

Récolte le plus bas possible mais en évitant les pierres

5. Tri

Plusieurs étapes nécessaires : cyclone, nettoyeur rotatif, séparateur par gravité, éventuellement trieur optique

Semis :

simultané décalé

Récolte :

simultanée décalée

Seigle + Vesce d'hiver

Secale cereale + Vicia villosa

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



RUC
Roskilde University

Photo : A.K. Aare

Féverole + Triticale

Vicia faba + Triticosecale rimpoui

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



FiBL

Photo : M. Klais

Objectifs : produire des semences de vesce

Vérifier si les graines de vesce peuvent être produites pour un usage personnel sur un sol sableux

Observer si la vesce affecte le seigle

Danemark

Climat continental (674 mm/an)
T moyenne annuelle min 3,8°C / max 11,5°C
Sol de type sable grossier

1. Préparation du sol

Application de Glyphosate
Travail du sol à 15 cm

2. Semis

Semis du seigle à 100 kg/ha
et de la vesce à 20 kg/ha

3. Entretien

Application de pesticide (DFF)
Application de fertilisants (125 kg N/ha)

4. Récolte

Fauchage du seigle,
séchage 6-7 jours puis moisson

ITINÉRAIRE TECHNIQUE

DÉBOUCHÉS

Seigle vendu pour l'alimentation humaine
et vesce utilisée comme semence

Culture de couverture pendant l'hiver

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Peu de succès en raison d'une
trop forte application d'engrais
provoquant la verse de la culture

La concurrence interspécifique
n'a pas fonctionné

Récolte difficile en raison de la pluie et de la
verse. Rendement de 18 qtx de grains/ha

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Choisir une vesce d'hiver (fleurs
blanches) qui fleurit un mois plus tôt
et concurrence moins le seigle

Semis: mi-septembre
 simultané décalé

Récolte: fin juillet
 simultanée décalée

Objectifs : produire de la féverole et contrôler l'enherbement

Contrôler les adventices

Réduire la verse de la féverole

Suisse

Climat continental (précipitations annuelles
moyennes : 850 mm/an) * Moyenne annuelle
des températures min 1°C / max 24,9°C

1. Préparation du sol

Labour à 20 cm

2. Semis

Semoir combiné avec herse rotative,
semis à 3 cm de profondeur en mélange sur le rang.
Féverole 32 pl/m² (80%) et avoine 180 pl/m² (40%)

3. Entretien

Pas de fertilisation
Pas de désherbage
Pas d'irrigation

4. Récolte

Moissonneuse batteuse
Féverole : 2,5 t/ha
Triticale : 1,5 t/ha

5. Tri

Tri au moulin avec un trieur optique

ITINÉRAIRE TECHNIQUE

DÉBOUCHÉS

Destination de la récolte : vente

Utilisation de la production :
alimentation animale

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Proportion élevée de féverole à la récolte

Pas de verse (la féverole est plus
courte qu'en culture pure)

Bon contrôle des adventices

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Afin d'éviter les dommages causés par le
gel sur les féveroles, il est recommandé
de semer assez profondément
et pas trop tôt en octobre.

Les sols riches en azote favorisent les
céréales au détriment de la féverole.

Semis: mi-octobre
 simultané décalé

Récolte: début août
 simultanée décalée

Type 2 (n=4)

Mélange de plus
de deux cultures de rente
d'hiver semées et récoltées
simultanément

Mélange de 2 céréales et 2 légumineuses

Triticosecale + Triticum aestivum + Pisum sativum + Vicia faba
Triticale + Blé + Pois fourrager + Féverole

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



Photo : L. Bedoussac

Objectifs : produire un aliment complet

Assurer une autonomie alimentaire
avec un mélange grain

France

Climat océanique dégradé (730 mm/an)
T moyenne annuelle min 8,1°C / max 18,7°C

Sol argileux

ITINÉRAIRE TECHNIQUE

1. Préparation du sol

Labour à 20 cm

2. Semis

Semis en mélange sur le rang, au combiné,
sans roulage, à 2-3 cm de profondeur,
et à 12.5 cm d'inter-rang.
Céréales à 140 kg/ha (50 % blé et 50 % triticale),
féverole à 50 kg/ha et pois à 12 kg/ha

3. Entretien

Pas de fertilisation
Pas de désherbage
Pas d'irrigation

4. Récolte

Moisson du mélange pour les grains à la
maturité de l'espèce la plus tardive

5. Tri

Aucun

Semis: fin octobre
 simultané décalé

Récolte: mi-juillet
 simultanée décalée

DÉBOUCHÉS

Mélange en grains destiné à l'alimentation
des vaches (autoconsommation)

Utilisation des pailles pour le paillage

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Rendement d'environ 4 t/ha



Le pois a tendance à verser

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Il faut diminuer légèrement la densité
de pois pour éviter qu'il ne verse

Mélange de 3 céréales et 2 légumineuses

Triticosecale + Triticum spelta + Avena sativa + Vicia faba + Pisum sativum
Triticale + Épeautre + Avoine + Féverole + Pois fourrager

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



Objectifs : produire un aliment riche en protéines

Obtenir un mélange riche en protéines pour l'alimentation de porcs

France

Climat océanique dégradé (730 mm/an)
T moyenne annuelle min 8,1°C / max 18,7°C

Sol acide, léger, sableux, pauvre en argile

1. Préparation du sol

Déchaumage, chaulage, apport de 10 t/ha de fumier puis labour à 20 cm

2. Semis

Semis en mélange sur le rang, au semoir à disque, à 2-3 cm de profondeur et à 12.5 cm d'inter-rang. Triticale à 80 kg/ha (45 % de la culture pure), épeautre à 10 kg/ha, avoine à 5 kg/ha, féverole à 50 kg/ha et pois à 5 kg/ha. Puis herse rotative

3. Entretien

Pas de fertilisation
Pas de désherbage
Pas d'irrigation

4. Récolte

Moisson du mélange pour les grains à la maturité de l'espèce la plus tardive avec réglage triticales

5. Tri

Aucun

Semis : mi-novembre

simultané décalé

Récolte : fin juillet

simultanée décalée

INRAE



DÉBOUCHÉS

Mélange de grains destiné à l'alimentation des vaches (autoconsommation)

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



En réglage triticales, la céréale est correctement battue

Le coût de semence est très faible car le mélange est issu d'un précédent méteil



Il y a un peu de féverole cassée mais cela ne pose pas de souci puisqu'elle est broyée en farine avant d'être donnée aux animaux

Rendement d'environ 4 t/ha



Les proportions ne sont pas très optimales (peu d'avoine, d'épeautre et de féverole)

La céréale n'est pas très réussie car le sol manque d'azote

Le couvert de légumineuses n'est pas assez dense pour compenser le peu de céréales

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Semer les grains d'une précédente récolte est risqué car les proportions ne sont pas équilibrées

Compenser le manque de légumineuses en fertilisant pour accroître la quantité de céréales

Photo : L.Bedoussac

Mélange de 2 céréales et 3 légumineuses

Triticosecale + Avena sativa + Pisum sativum + Vicia sativa + Vicia faba
Triticale + Avoine + Pois fourrager + Vesce + Féverole

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



Objectifs : produire un fourrage riche en protéines

Obtenir un fourrage riche en matière azoté

France

Climat océanique dégradé (730 mm/an)
T moyenne annuelle min 8,1°C / max 18,7°C

Sol acide, léger, sableux, pauvre en argile

1. Préparation du sol

Déchaumage à 5 cm, apport de 10 t/ha de fumier de bovin, puis labour à 20 cm

2. Semis

Semis en mélange sur le rang, au semoir à double disques avec herse rotative, à 2-3 cm de profondeur et à 12.5 cm d'inter-rang. Triticale à 50 kg/ha, avoine à 22 kg/ha, pois à 22 kg/ha, vesce à 8 kg/ha, féverole à 50 kg/ha

3. Entretien

Pas de fertilisation
Pas de désherbage
Pas d'irrigation

4. Récolte

Ensilage d'une partie pour faire du fourrage, et moisson de l'autre pour garder des semences

5. Tri

Aucun

Semis : fin octobre

simultané décalé

Récolte : mi-juillet

simultanée décalée

INRAE



DÉBOUCHÉS

Fourrage destiné à l'alimentation des vaches (autoconsommation)

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Plus de 8 t/ha de matière sèche

Couvert touffu, plantes très hautes et proportions satisfaisantes



Beaucoup de graines cassées

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Le semis doit être fait suffisamment tôt (ici avant le 20 octobre) afin que la culture soit bien implantée avant l'hiver pour résister au froid et aux précipitations

Il faut toujours refaire le mélange avant de semer pour avoir les bonnes proportions au semis (minimum 50 kg/ha de féverole) et éviter de semer des adventices. Pour cela il faut trier grossièrement le mélange et le compléter avec des semences pures

Photo : L.Bedoussac

47

46

ITINÉRAIRE TECHNIQUE

ITINÉRAIRE TECHNIQUE

Mélange de 2 céréales et 2 légumineuses

Avena sativa + *Hordeum vulgare* + *Pisum sativum* + *Lupinus alba*
Avoine + Orge + Pois fourrager + Lupin blanc

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



Objectifs : produire un aliment complet

Autosuffisance dans l'alimentation du bétail et le fumier

Système autonome par la production de protéines végétales

Pays-Bas

Climat maritime modéré (précipitations annuelles moyennes NL = 792mm ; Tmoyenne moyenne 14,1°C Tmin=6,9°C Tmax= 14,1°C)

Sol sablonneux, anthrosol



Photo : L. Bedoussac

DÉBOUCHÉS

Deux possibilités :

- 1/ mélange de grains broyés (propre concasseur) et stockés dans un silo
- 2/ fourrage ensilé de la récolte entière

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Pression des mauvaises herbes

Fixation de l'azote

Réduction des risques



Risque de sécheresse !

Production « énergétique » (pour l'alimentation animale) plus facile que la production de protéines.

Ne convient pas à la vente comme aliment pour animaux en raison des exigences de pureté et de séparation et des grands volumes.

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Ce mélange est sensible à la sécheresse sur les sols légers.

Le lupin est adapté aux sols acides.

Problèmes de récolte : les légumineuses à maturation précoce entraînent des pertes de récolte, le réglage de la moissonneuse-batteuse est difficile.

Une culture d'hiver serait préférable pour la suppression des mauvaises herbes.

Type 3 (n=18)

Mélange de deux cultures de rente de printemps semées et récoltées simultanément

48

ITINÉRAIRE TECHNIQUE

1. Préparation du sol

Cultivation/drilling combination

2. Semis

Orge + avoine : 70kg/ha
Pois + lupin : 110-120 kg/ha
Semis en une seule opération

3. Entretien

20t/ha de fumier de bovins
3 passage de herse (jusqu'à mi-mai)

4. Récolte

Grains matures / ensilage de plantes vertes, par exemple en cas d'excès de mauvaises herbes.
4t/ha (60% céréales, 40% légumineuses)

5. Tri

Aucun

Semis: mi-mars

simultané décalé

Récolte: début août

simultanée décalée

Blé + Féverole

Triticum aestivum + Vicia faba

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



Louis Bolk
Instituut

Photo : F. Van Malling

Objectifs : produire un aliment riche en protéines et contrôler l'enherbement

Autoproduire de 50% des aliments pour volaille :
alimentation protéinée pour poulets

Réduire les adventices, favoriser
auxiliaires et pollinisateurs

Enrichir le sol en azote pour la culture suivante

Pays-Bas

Climat maritime (760 mm/an)
Température moyenne annuelle min 6,1°C / max 13,6°C

Sol argileux

DÉBOUCHÉS

Le mélange de cultures est utilisé à la
ferme comme aliment pour la volaille
pour la production d'œufs biologiques

Selon les réglementations biodynamiques,
50% des aliments doivent être
produits sur l'exploitation

Par rapport à d'autres cas, la fraction
de blé est plutôt élevée, le ratio de
semis dépend de votre objectif

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Culture en bon état, la longue période de
floraison de la féverole stimule les bourdons
et autres insectes auxiliaires dans la culture

Le mélange est apprécié par les poulets

Les mélanges de cultures ont plusieurs
avantages qui soutiennent la mission des
agriculteurs (alimentation de proximité,
bonne pour le sol et la biodiversité)



Le blé était mûr deux semaines plus
tôt que la féverole et l'agriculteur a
dû attendre que la féverole arrive à
maturité pour récolter l'ensemble

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Il y a un risque de mûrissement non
synchronisé, et cultiver un mélange
demande plus de travail (séchage et
martelage) que de produire uniquement
du blé et d'acheter du soja à l'étranger

Blé + Féverole

Triticum aestivum + Vicia faba

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



RUC
Roskilde University

Photo : H. Hauggaard-Nielsen

Objectifs : produire un aliment complet et contrôler l'enherbement

Augmentation du rendement total

Suppression des mauvaises herbes

Diminution du taux d'infestation (parasites, champignons)

Augmentation de la biodiversité dans les champs

Diminution de l'utilisation d'engrais artificiels

Danemark

Semis direct

Climat continental (614 mm/an)
Température moyenne annuelle min 4,9°C / max 11,4°C

Sol limoneux
Sol limoneux argileux

DÉBOUCHÉS

Vendu au détaillant séparé
7,5 tonnes/ha (50% blé/50% haricot)

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Haut rendement

Le triage à la ferme a été possible avec
un résultat de bonne qualité pour la
vente en fractions pures au détaillant



Année favorable donc difficile de dire
si les rendements élevés sont le fait
de l'année ou d'un mélange réussi



Le triage à l'aide d'un équipement de
triage à la ferme prend du temps

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

L'agriculteur veut améliorer le triage sur son
exploitation, ainsi il devrait utiliser moins
de main d'œuvre pour, par exemple, la
mise en place de l'équipement de triage

ITINÉRAIRE TECHNIQUE

1. Préparation du sol

Utilisation de glyphosate juste avant le semis (1200 g/ha)

2. Semis

Semis simultanés. 70% de la densité normale de semis du
blé et de la féverole.

3. Récolte

Récolte simultanée

4. Récolte

Moisson simultanée début juillet

5. Tri

Triage à la ferme (max. 3t/heure)

Semis: fin mars

- simultanée
- décalée

Récolte:

- simultanée
- décalée

ITINÉRAIRE TECHNIQUE

1. Semis

Semis en rangs, à 6 cm de profondeur.
Blé à 60 kg/ha et féverole à 180 kg/ha

2. Entretien

Passage de la herse avant et pendant la levée,
et de la houe après la levée

3. Récolte

Avec une moissonneuse batteuse normale, réglage du
contre batteur un peu plus large par rapport au blé pur

4. Séchage

Séchage dans des sacs spéciaux, dans des
coffrets cubiques devant le mur de ventilation

5. Alimentation

Le mélange est broyé avec un broyeur
à marteaux, mélangé et complété avec
d'autres ressources d'alimentation

Semis: début avril

- simultané
- décalé

Récolte:

- simultanée
- décalée

Blé + Pois

Triticum aestivum + Pisum sativum

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



Photo : M. Krysztoforski

Objectifs : augmenter la production de protéines dans le fourrage

Diversifier la rotation des cultures et favoriser la biodiversité
Fixer de l'azote grâce au pois

Pologne

Climat continental (684 mm/an)
T moyenne annuelle min 4°C / max 12,2°C
Sol argileux

DÉBOUCHÉS

Fourrage utilisé à la ferme pour nourrir le bétail, principalement les porcs, mais aussi les poissons (carpes), et les poulets en libre parcours

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Avec un mélange de 50 % de blé et 50 % de pois, le rendement est de 4,66 t/ha dont 1,46 t/ha de blé et de 3,2 t/ha de pois

Avec un mélange de 75 % de blé et de 25 % de pois, le rendement est de 5,02 t/ha dont 3,62 t/ha de blé et 1,4 t/ha de pois



Grave problème avec les oiseaux (pigeons) et manque d'herbicides

En Pologne, les légumineuses sont uniquement reconnues en semis pur comme cultures répondant aux exigences environnementales. Il n'y a pas de primes pour les légumineuses en mélange

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Les variétés de pois doivent être sélectionnées correctement ; de préférence semi-foliée et enrobés de Rhisobia

Le champ doit être exempt d'adventices, en raison du manque de bons herbicides

Le mélange est bien adapté aux exploitations biologiques

Blé + Pois

Triticum aestivum + Pisum sativum

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



Photo : R. Walker

Objectifs : produire un aliment complet

Faciliter la récolte des pois avec le blé comme tuteur

Récolter du blé riche en protéines même en cas d'échec du pois
Augmenter le rendement en protéines de l'ensemble de la culture

Ecosse

Climat océanique (800 mm/an)
T moyenne annuelle min 4,7°C / max 11,8°C

DÉBOUCHÉS

Mélange de cultures utilisé à la ferme comme composant à haute teneur en protéines et en énergie dans l'alimentation des poules pondeuses

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Le blé associé au pois s'est mieux comportée que le blé pur semé dans l'autre moitié du champ

En moyenne, sur les 4 années de culture de ce mélange dans l'exploitation, la culture associée a amélioré la marge économique par hectare, surtout pendant les années défavorables pour les pois

Amélioration notable de la «santé» des sols, par exemple par une plus grande activité des vers



Les soins doivent être combinés efficacement

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Privilégier des variétés résistantes aux maladies

Privilégier une variété de blé de printemps précoce and une variété de pois de printemps tardive

ITINÉRAIRE TECHNIQUE

1. Préparation du sol

Passage de disques, passage de la herse avec rouleau, labour pré-hivernal, fertilisation

2. Semis

Semis en mélange sur le rang.
50 % de blé et 50 % de pois

3. Entretien

Un passage de herse au stade 3-4 feuilles de la céréale
Pulvérisation d'Harmony à 15 g/ha ou de pendimétaline à 800 g/ha

4. Récolte

Simultanée

5. Tri

Aucun

Semis: mi-avril

simultané décalé

Récolte:

simultané décalée

1. Semis

Semis à 225 kg/ha dont
62 % de blé et 38 % de pois

2. Entretien

Désherbage avec un outil à dent, avant que la culture ne soit trop grande (blé avant le stade 3-4 feuilles)

3. Récolte

Moisson simultanée en septembre

4. Tri

Aucun

Le mélange est donné directement aux poulets après un traitement à l'acide propionique

Semis: mi-avril

simultané décalée

Récolte:

simultané décalée

ITINÉRAIRE TECHNIQUE

Blé + Pois chiche

Triticum aestivum + Cicer arietinum

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



INTIA

Photo: C. Virro

Objectifs : sécuriser la production de pois chiche et améliorer la qualité du blé

Améliorer la marge en récoltant une culture supplémentaire

Récolter au moins une culture en cas d'échec de l'autre

Augmenter la qualité de panification du blé

Diminuer la pression en adventices

Espagne

Climat méditerranéen (450-550 mm/an)
T moyenne annuelle min 7,1°C / max 17,8°C

Terrains alluviaux, terrasses

DÉBOUCHÉS

Blé de haute qualité boulangère vendu pour l'alimentation humaine

Pois chiche vendu pour l'alimentation humaine, mais avec un risque de contamination par le gluten

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Réduction de 30 % des adventices dans les cultures associées sans désherbage par rapport aux cultures pures

Réduction de 27 % (herse à dents flexibles) et 63 % (cultivateur inter-rangs) des adventices après désherbage

Rendement : 2,2 t/ha de blé et 1,0 t/ha de pois chiches lorsque le blé a été semé à 50 % de la dose pure

Rendement : 1,9 t/ha de blé et 1,2 t/ha de pois chiche lorsque le blé a été semé à 30 % de la dose pure

Meilleure qualité boulangère des cultures associées par rapport aux cultures pures



LER légèrement inférieur à 1 (2019) et supérieur à 1 (2020)

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

La densité de semis du blé devrait être réduite afin d'augmenter le rendement de pois chiche

Lentille + Blé

Lens culinaris + Triticum aestivum

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



INRAE

Photo: L. Bedoussac

Objectifs : produire de la lentille en limitant la verse

Limitier la verse de la lentille au moyen d'une espèce associée faisant office de tuteur et qui soit valorisable

France

Climat océanique dégradé (640-712 mm/an)
T moyenne annuelle min 8,5°C / max 18,6°C

Sol argileux
OU argilo-calcaire
OU sablo-argileux

DÉBOUCHÉS

Lentille et blé vendus en mélange à une coopérative pour l'alimentation humaine

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



La lentille n'a pas versée : bon effet tuteur du blé

Blé riche en protéine (15 %)

Rendement global 1 t/ha



Récolte un peu "sale", qui aurait nécessité un pré-triage

Problème de chardons pour l'agriculteur qui n'a pas désherbé

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Pré-tri envisageable (à la CUMA ou à la ferme) pour réduire la facture du tri, mais le volume doit être assez important pour que ce soit intéressant

Résultat très variable selon les conditions météorologiques (risque d'avortement de la lentille)

Il faut choisir deux espèces qui arrivent à maturité en même temps

1. Préparation du sol

Option 1 : Labour + herse rotative

Option 2 : Déchaumeur + cultivateur

Option 3 : Charrue déchaumeuse + herse rotative + chisel + vibroculteur

2. Semis

Option 1 : en mélange sur le rang

Option 2 : en deux passages le même jour en rangs intercalés

Semis au semoir à blé avec herse rotative, à 2-3 cm de profondeur, et à 13.5-15 cm d'inter-rang. Blé à 30-60 kg/ha (20-30 % de la culture pure) Lentille à 90-100 kg/ha (90 % de la culture pure)

3. Entretien

Désherbage : herse étrille ou écroûteuse ou aucun
Pas de fertilisation Pas d'irrigation

4. Récolte

Commencer avec un réglage blé puis adapter après observation

5. Tri

Une partie à la ferme pour garder des semence et le reste à la coopérative

Semis: début mars
 simultané décalé

Récolte: fin juillet
 simultanée décalée

ITINÉRAIRE TECHNIQUE

1. Semis

Pois chiche semé à 50 plants/m² (100 % de la culture pure)
Blé semé à 150 et 250 plants/m² (30 et 50 % de la culture pure)

2. Entretien

Désherbage mécanique à l'aide d'une herse à dents flexibles ou d'un cultivateur inter-rangs selon le type de semis

3. Récolte

Moisson simultanée en juillet

4. Tri

Avec un petit équipement de séparation par tamis appartenant à INTIA

Semis: mi-janvier
 simultané décalé

Récolte: mi-juillet
 simultanée décalée

Lentille + Blé

Lens culinaris + Triticum aestivum

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



INRAE

Photo: L. Bedoussac

Objectifs : sécuriser la production de lentille et améliorer la qualité du blé

- Faciliter la récolte de lentille grâce à un tuteur
- Récolter une culture en cas d'échec de la lentille
- Améliorer la qualité du blé meunier

France

Climat océanique dégradé (700 mm/an)
T moyenne annuelle : min 7,9°C / max 18,9°C
Terres de vallées et coteaux argilo-calcaires

DÉBOUCHÉS

Mélange livré à une coopérative pour séparation et vente des produits pour l'alimentation humaine

Blé à haute valeur boulangère

Lentille pour l'alimentation humaine, mais un risque de contamination au gluten

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Gain de production : 0,8 t/ha de lentille en culture pure VS 0,8 t/ha de lentille + 0,8 t/ha de blé à 15.2 % de protéines en association

En moyenne, cette pratique améliore la marge à l'hectare (essais INRA) surtout en cas d'année défavorable à la lentille (verse, bruches)



Le coût de triage est plus élevé en association et absorbe partiellement le gain de rendement de l'association

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Choix de variété de blé à forte alternativité pour un semis de fin d'hiver

Densité de blé inférieure à 25 % de la dose en culture pure pour ne pas impacter le rendement de la lentille

Semis : février

- simultané
- décalé

Récolte : début août

- simultanée
- décalée

Lentille + Blé

Lens culinaris + Triticum aestivum

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



INTIA

Photo: C. Virro

Objectifs : sécuriser la production de lentille et améliorer la qualité du blé

Le blé sert de tuteur pour faciliter la récolte des lentilles

Récolter une culture en cas d'échec de l'autre

Diminuer la pression des mauvaises herbes

Produire des légumineuses biologiques pour répondre à la demande locale croissante

Espagne

Terrains alluviaux, terrasses

Hiver froid, été sec et chaud avec des pluies irrégulières et rares. Précipitations annuelles : 450-550 mm

DÉBOUCHÉS

Production de blé de haute qualité boulangère.

Production de lentilles pour la consommation humaine, mais avec un risque de contamination par le gluten.

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Rendement variable : Agri 1 (207kg/ha de lentille + 1000kg/ha de blé), agri 2 (220 kg/ha de lentille + 2000 kg/ha de blé), agri 3 (800kg/ha de lentille + 200kg/ha de blé) en quantité de grains propres prêt à la vente

Le nettoyage et la séparation des cultures associées compensés si le grain est vendu sur le marché local

Hauteur des plantes plus élevée qu'en culture pure (réduction de la verse des lentilles)

Moins de mauvaises herbes dans la culture associée



Différentes variétés de lentilles avec différentes tailles de grain, liées à différents niveaux de difficulté de séparation du grain (plus le grain est similaire au blé, plus il est difficile à séparer)

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Choisir des variétés de blé ayant la même date de semis que la lentille (janv.-fév. au lieu d'oct.-nov.) et la même qualité boulangère

La densité du blé doit être inférieure à 30% de la dose en culture pure pour ne pas affecter le rendement de la lentille (prix élevé)

Soyez prudent lors de la récolte en adaptant la moissonneuse aux deux cultures

Adapter le coût de la séparation des grains

Semis : janvier-février

- simultané
- décalé

Récolte : juillet

- simultanée
- décalée

Pois + Orge

Pisum sativum + Hordeum vulgare

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



FiBL

Photo : M. Klais

Objectifs : produire du pois et contrôler l'enherbement

- Contrôler les adventices
- Réduire la verse du pois

Suisse

Climat continental (précipitations annuelles moyennes : 780 mm/an) * Moyenne annuelle des températures min 1°C / max 22.4°C

Sol limoneux argileux

58

ITINÉRAIRE TECHNIQUE

1. Préparation du sol

Cultivateur à 7 cm de profondeur

2. Semis

Semoir combiné avec herse rotative, semis à 3 cm de profondeur en mélange sur le rang. Pois : 80 pl/m² (80%) et orge 180 pl/m² (40%)

3. Entretien

Pas de fertilisation
Désherbage : 1 passage de herse étrille
Pas d'irrigation

4. Récolte

Moissonneuse batteuse
Pois : 4,95 t/ha
Orge : 1,13 t/ha

5. Tri

Tri au moulin avec un trieur optique

Semis : mi-octobre
 simultané décalé

Récolte : début juillet
 simultanée décalée

DÉBOUCHÉS

Destination de la récolte : vente

Utilisation de la production :
alimentation animale

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Proportion élevée de pois à la récolte

Bon contrôle des adventices



Verse à la fin de la période de croissance

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

La sécheresse peut être très préjudiciable au pois

Les sols riches en azote favorisent les céréales au détriment du pois

Orge + Pois

Hordeum vulgare + Pisum sativum

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



SRUC

Photo : R. Walker

Objectifs : produire un aliment complet

Faciliter la récolte du pois avec l'orge comme tuteur

Permettre la récolte d'orge à haute teneur en azote même si le pois échoue.

Augmenter le rendement en protéines

Ecosse

Climat océanique (850 mm/an)

T moyenne annuelle min 4,7°C / max 11,8°C

DÉBOUCHÉS

Destination de la récolte : vente

Utilisation de la production :
alimentation animale

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



La culture associée d'orge et de pois a donné de meilleurs résultats que les cultures pures d'orge ou de pois

En moyenne, sur les 4 années où ce mélange a été cultivé sur l'exploitation, la culture associée a amélioré la marge économique par hectare, surtout pendant les années défavorables pour le pois

Amélioration notable de la « santé » du sol, par exemple plus d'activité des vers de terre, amélioration de la structure du sol et effet sur le rendement de la culture suivante (orge de printemps)



Il faut prendre soin de régler efficacement la moissonneuse-batteuse pour réduire les dommages aux grains

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Choisir des variétés résistantes aux maladies

Choisissez des variétés d'orge de printemps à maturation précoce et de pois de printemps à maturation tardive

59

ITINÉRAIRE TECHNIQUE

1. Préparation du sol

Labour jan/fév
Herse rotative juste avant le semis
Rouler après le semis

2. Semis

Semis à 132 kg/ha de pois (60% pleine dose) et 80 kg/ha d'orge (40% de la pleine dose)

3. Entretien

Semer la culture, puis plus aucun intrant jusqu'à la récolte

4. Récolte

Récolte simultanée au début du mois d'août

5. Tri

Aucun (utilisé directement pour l'alimentation des bovins)

Semis : mi-avril
 simultané décalé

Récolte : mi-septembre
 simultanée décalée

Féverole + Avoine

Vicia faba + Avena sativa

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



FiBL

Photo : M. Klais

Objectifs : produire de la féverole et contrôler l'enherbement

- Contrôler les adventices
- Réduire la verse de la féverole

Suisse

Climat continental (précipitations annuelles moyennes : 780 mm/an) * Moyenne annuelle des températures min 1°C / max 22.4°C

Sol limoneux argileux

1. Préparation du sol

Labour à 20 cm

2. Semis

Semoir combiné avec herse rotative, semis à 3 cm de profondeur en mélange sur le rang.
Féverole 32 pl/m² (80%) et avoine 180 pl/m² (40%)

3. Entretien

Pas de fertilisation
Désherbage : 1 passage de herse étrille
Pas d'irrigation

4. Récolte

Moissonneuse batteuse
Féverole : 2,5 t/ha
Avoine : 1,12 t/ha

5. Tri

Tri au moulin avec un trieur optique

ITINÉRAIRE TECHNIQUE

Semis: mi-mars

- simultané
- décalé

Récolte: début août

- simultanée
- décalée

DÉBOUCHÉS

Destination de la récolte : vente

Utilisation de la production :
alimentation animale

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Proportion élevée de féverole à la récolte

Pas de verse



Quelques adventices mais de petite taille



L'avoine peut être très compétitive envers la féverole

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

L'avoine contrôle bien les adventices mais peut être très compétitive envers la féverole

Les sols riches en azote favorisent les céréales au détriment de la féverole

Avoine + Lupin bleu

Avena sativa + Lupinus angustifolius

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



FiBL

Photo : M. Wendling

Objectifs : produire du lupin et contrôler l'enherbement

- Contrôler les adventices
- Eviter la verse du lupin

Fixer l'azote pour la prochaine culture

Suisse

Climat continental (1050 mm/an)
T moyenne annuelle min 2.2°C / max 23.7°C

Sol limoneux

1. Préparation du sol

Labour pour un bon contrôle des adventices

2. Semis

Semis en mars, sur le même rang, au semoir à céréales
Lupin à 130 plants/m² (100 % de la culture pure)
et avoine à 40 plants/m² (10 % de la culture pure)

3. Entretien

Si nécessaire, binage possible jusqu'à ce que les plants de lupin atteignent 20 cm (mais rarement nécessaire car l'avoine est une culture de nettoyage)

4. Récolte

Moisson simultanée fin juillet

5. Tri

Tri réalisé au moulin

ITINÉRAIRE TECHNIQUE

Semis: mi-mars

- simultané
- décalé

Récolte: début août

- simultanée
- décalée

DÉBOUCHÉS

Lupin et avoine vendus à un moulin pour l'alimentation animale

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Bonne gestion des adventices ; en général pas besoin de désherbage mécanique

Proportion équilibrée des deux espèces à la récolte

Le lupin ne verse pas



Il faut prendre soin de régler efficacement la moissonneuse-batteuse pour réduire les dommages aux grains

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Le lupin est très sensible au calcaire : la teneur totale en calcaire doit être inférieure à 10%, sinon le risque de chlorose est élevé et le rendement très faible

La densité de semis de l'avoine ne doit pas dépasser 10% car elle est très compétitive envers le lupin

L'alternance de rangées de lupin et d'avoine semble être une bonne option pour réduire la compétitivité de l'avoine

Éviter la culture du lupin en association après une culture de légumineuse ou un couvert avec une grande proportion de légumineuses (l'avoine sera trop compétitive par rapport au lupin)

Privilégier une variété d'avoine à maturation tardive pour une bonne synchronisation avec le lupin et une réduction de la germination

Privilégier une variété de lupin à haut rendement (ramifié)

Le semis en rangs alterné permet de réduire la compétition de l'avoine envers le lupin

Lentille + Avoine

Lens esculenta puyensis + Avena sativa

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



Photo : R. Walker

Maïs + Haricot

Zea mays + Phaseolus vulgaris

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



Photo : C. Dordas

Objectifs : produire un fourrage riche en protéines et facile à récolter

- Faciliter la récolte de l'ensilage avec l'avoine comme tuteur
- Permettre la récolte d'avoine à haute teneur en azote même si les lentilles échouent.
- Augmenter le rendement en protéines

Ecosse

Climat océanique (850 mm/an)
T moyenne annuelle min 4,7°C / max 11,8°C

DÉBOUCHÉS

L'ensilage peut être utilisé à la ferme comme un aliment à haute teneur en protéines et en énergie pour compléter le régime alimentaire des bovins

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



La culture de lentilles densité élevée a donné de meilleurs résultats que les cultures à faible densité (63 kg/ha de lentilles) pour une même densité d'avoine

En moyenne, sur 4 ans, ce mélange a toujours bien poussé sur l'exploitation par rapport à d'autres cultures associées de céréales et de légumineuses (pour l'ensilage)

Bon effet sur le rendement de la culture suivante (orge de printemps)



Pas facile à mener à bien jusqu'à une récolte en grains à maturité

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Choisissez des variétés résistantes aux maladies, choisissez de l'avoine de printemps à maturation précoce.

Il est difficile de se procurer des semences de lentille, car cette culture n'est pas très connue au Royaume-Uni. L'expérience de ReMIX a montré que la lentille verte Anicia était plus performante que la lentille jaune Gotland.

Objectifs : accroître et stabiliser les rendements

- Obtenir des rendements plus élevés et plus stables
- Soutenir les haricots
- Augmenter la productivité à l'hectare des deux espèces
- Lutter contre les mauvaises herbes en couvrant le sol

Suisse

Climat méditerranéen (438 mm/an)
T moyenne annuelle min 9,9°C / max 20,3°C
Sol limoneux

1. Préparation du sol

Labour en mars

2. Semis

Semis de chaque espèce à 40 000 plants/ha (50 % des cultures pures)

3. Entretien

Pas d'engrais pour les cultures associées (150 kg N/ha pour le maïs pur).
Herbicide pentimethalin en mai.
Insecticide contre les pucerons et les aleurodes en Juillet pour les haricots

4. Récolte

Moisson simultanée car les variétés choisies ont une date de maturité similaire

5. Tri

Séparation après la récolte

DÉBOUCHÉS

Grains vendus pour alimentation humaine

Les plantes entières récoltées avant maturité peuvent être utilisées comme fourrage/ensilage

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Bénéfiques pour l'environnement grâce à une moindre utilisation d'engrais et d'herbicides

Possibilité de produire un produit à valeur ajoutée grâce à une teneur plus élevée en protéines

L'association avec le maïs limite la verse de la légumineuse

Bon établissement des deux espèces



Une des difficultés concerne la séparation des grains

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

L'irrigation est nécessaire car l'été est très sec en Grèce

1. Préparation du sol

Labour jan/fév
Herse rotative juste avant le semis
Rouler après le semis

2. Semis

Semis à 95 kg/ha de lentille (100% pleine dose) et 30 kg/ha d'avoine (15% pleine dose)

3. Entretien

Semer la culture, puis plus aucun intrant jusqu'à la récolte

4. Récolte

Récolte simultanée au début du mois d'août

5. Tri

Aucun (utilisé directement pour l'alimentation des bovins)

Semis: début/mi-avril
 simultané décalé

Récolte: début août
 simultanée décalée

1. Préparation du sol

Labour en mars

2. Semis

Semis de chaque espèce à 40 000 plants/ha (50 % des cultures pures)

3. Entretien

Pas d'engrais pour les cultures associées (150 kg N/ha pour le maïs pur).
Herbicide pentimethalin en mai.
Insecticide contre les pucerons et les aleurodes en Juillet pour les haricots

4. Récolte

Moisson simultanée car les variétés choisies ont une date de maturité similaire

5. Tri

Séparation après la récolte

Semis: mi-avril
 simultané décalé

Récolte: mi-septembre
 simultanée décalée

Lentille + Cameline

Lens culinaris + Camelina sativa

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



INRAE



Photo: M. Clerc

Objectifs : sécuriser la production de lentille et récolter un culture en plus

Augmenter la marge en récoltant une culture en plus

Contrôler les adventices en couvrant le sol

Réduire les dégâts de bruches

Faciliter la récolte de lentille grâce à un tuteur

Tarn & Haute-Garonne, France

Climat océanique dégradé (640—700 mm/an)
T moyenne annuelle min 8°C / max 18,7°C

Coteaux argilo-calcaires

DÉBOUCHÉS

Lentilles vendues à une coopérative ou en vente directe à la ferme en sachets

Cameline vendue à une coopérative pour l'huilerie ou les cosmétiques, ou pressée sur la ferme pour la vente directe d'huile

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



La lentille verse moins et la récolte s'en trouve facilitée

La cameline couvre bien le sol et concurrence bien les mauvaises herbes

Pas de perte de rendement en lentille (0,5-1,5 t/ha) et un peu de cameline (jusqu'à 0,3 t/ha) qui compense lors de mauvaises années pour la lentille



La cameline qui sort n'est pas très propre et nécessite plus de travail au triage

Pas d'effet observé sur les bruches

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Maintenir la densité de semis de lentille à 100 % (100 kg/ha) et ne pas dépasser 3 kg/ha de cameline. Les semences peuvent être mélangées au malaxeur avec un peu d'huile de tournesol pour faire adhérer la cameline sur la lentille et faciliter le semis

Cultures sensibles aux excès climatiques après le semis (fortes pluies ou sécheresse prolongée)

En coupe basse, risque de récolter de la poussière qui adhère aux graines de cameline la rendant impropre à une valorisation à la ferme

Semis:

- simultané
- décalé

Récolte:

- simultanée
- décalée

Lentille + Cameline + Lupin bleu

FiBL

Lens culinaris + Camelina sativa + Lupinus angustifolius

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



Photo: M. Wendling

Objectifs : produire localement des protéines pour l'alimentation humaine

Production locale de protéine pour l'alimentation animale

Réduire la vesce de la lentille

Limiter les adventices

Fixer l'azote pour la culture suivante

Suisse

Climat continental (974 mm/an)
T moyenne annuelle min 5,5°C / max 14,1°C

Sol limoneux

DÉBOUCHÉS

Lentille (principale production visée) vendue pour la consommation humaine

Lupin vendu à un moulin pour l'alimentation animale (culture de secours en cas d'échec de la lentille)

Cameline vendue à un agriculteur pour la production d'huile

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Bonne maîtrise des adventices, pas besoin de désherbage mécanique

Bonne synchronisation de la maturité entre les trois cultures

Rendement élevé de la lentille (800 kg/ha) et de la cameline (1000 kg/ha)

La récolte des lentilles est beaucoup plus facile qu'en culture pure

Bonne complémentarité entre les trois cultures, toujours au moins une culture réussie



Le rendement du lupin est trop faible (450 kg/ha)

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Le lupin est très sensible à la chaux : la teneur totale en chaux doit être inférieure à 10 %, sinon le risque de chlorose est élevé et le rendement très faible

La densité de semis du lupin devrait être augmentée pour un rendement plus élevé, si l'objectif principal est la production de lupin

Pas d'adventices dans le champ au moment du semis pour améliorer le contrôle des mauvaises herbes par la culture

1. Préparation du sol

Labour et travail du sol

2. Semis

Semis du lupin et de la lentille en mars.

Lupin à 100 kg/ha (45 % de la culture pure) et lentille à 55 kg/ha (65 % de la culture pure)

Semis de la Cameline à la volée, le même jour, à 3 kg/ha (proche de 100% de la culture pure)

3. Entretien

Roulage pour favoriser l'émergence de la Cameline

4. Récolte

Moisson simultanée début août

Semis: mi-mars

- simultané
- décalé

Récolte: début août

- simultanée
- décalée

Sarrasin + Soja

Fagopyrum esculentum + Glycine max.

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



INRAE

Photo : M. Klais

Pois fourrager + Féverole

Pisum sativum + Vicia faba

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



Photo : F. V. Larsen

Objectifs : sécuriser la production de soja et contrôler l'enherbement

- Contrôler les adventices en couvrant le sol
- Augmenter la productivité à l'hectare
- Faciliter la récolte du soja

France

- Techniques sans labour
- Climat océanique dégradé (730 mm/an) T moyenne annuelle min 8,1°C / max 18,7°C
- Coteaux argilo-calcaires

DÉBOUCHÉS

- Soja vendu à une coopérative pour l'alimentation humaine
- Sarrasin transformé en farine à la ferme et vendu à des crêperies locales

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Le sarrasin fait monter la première gousse de soja et facilite sa récolte

Rendement 2017 = 2,5 t/ha de soja (potentiel en culture pure) + 0,25 t/ha de sarrasin (récolte supplémentaire)



Le sarrasin est mûr trois semaines avant le soja

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

- Attention au Sclerotinia dans le couvert très dense. Manque de recul aujourd'hui
- Besoin d'irrigation car compétition pour l'eau accrue dans l'association
- Réduction de la densité de semis du sarrasin pour limiter la concurrence. Le soja est la principale culture

Semis:

- simultané
- décalé

Récolte:

- simultané
- décalé

Objectifs : produire des légumineuses pour l'alimentation animale

Complémentarité entre les pois et les féveroles

Danemark

- Techniques sans labour
- Climat continental (614 mm/an) T moyenne annuelle min 4,9°C / max 11,4°C
- Sol argilo-sableux fin

DÉBOUCHÉS

- Pois et féverole vendus en dehors de l'exploitation comme protéines pour les porcs
- Alternativement, séparation et vente pour l'alimentation (prix plus élevé ; marché en expansion)

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Haut rendement : 3,2 t/ha de féveroles et 1,4 t/ha de pois

Facile à récolter

Récolte propre sans dommages causés par la moissonneuse-batteuse (il peut être possible d'effectuer un tri)

Les espèces arrivent à maturité en même temps. Bonne complémentarité entre espèces

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

- Possibilité possible d'augmenter la densité de semis du pois afin d'accroître son rendement (ex : 80-100 % de pois et 60 % de féverole)

1. Semis

- Semis direct à 60-65 % de la densité pure
- Pois à 32 kg/ha et féverole à 140 kg/ha

2. Entretien

- Application de Roundup avant la levée
- Application d'un herbicide (Fighter 480 SC) trois semaines après le semis
- Apport d'engrais lors du semis

3. Récolte

- Moisson simultanée

4. Tri

- Aucun

ITINÉRAIRE TECHNIQUE

ITINÉRAIRE TECHNIQUE

Type 4 (n=3)

Une culture de rente semée
simultanément avec une ou
plusieurs plantes compagnes
temporaires

Maïs + Orge

Zea mays + Hordeum vulgare

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



Objectifs : lutter contre le taupin

Réduire les attaques de taupin
sur les semences de maïs

France

Climat océanique (820 mm/an)
T moyenne annuelle min 8,3°C / max 16,7°C

Tous types de sol

DÉBOUCHÉS

Maïs utilisé comme grains pour l'alimentation
animale ou humaine, ou comme fourrage

Orge sans débouché (plante de service)

69

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Les semences d'orge attirent les vers fil de
fer et protègent donc les semences de maïs
des dégâts causés par les vers fil de fer



L'ensemencement de l'orge dans l'entre-
rang de maïs peut être assez difficile selon
l'équipement disponible dans l'exploitation

Bien que la présence de semences d'orge
tende à réduire les attaques de vers fil
de fer sur le maïs, cette alternative ne
permet pas une suppression complète
de l'insecticide au moment du semis

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

L'orge doit être détruite au stade
3-4 de la feuille de maïs ou avant le
tallage afin d'éviter la concurrence

L'orge doit être placée à une profondeur de
5 à 8 cm et à environ 20 cm du rang de maïs

ITINÉRAIRE TECHNIQUE

1. Semis

L'orge est semée entre deux rangs de maïs à 75 kg/ha
Option 1 : avec un semoir à céréales avant le semis du maïs
Option 2 : simultanément avec le maïs, au semoir mono-
graine, avec fertilisants

2. Entretien

Gestion typique de la culture de maïs

3. Récolte

Destruction de l'orge par le binage
au stade 3-4 de la feuille de maïs
Maïs récolté en septembre-novembre

4. Tri

Aucun

Semis:

simultané décalé

Récolte: septembre-novembre

simultanée décalée

Colza + Légumineuses gélives

Brassica napus + Lens nigricans + Lathyrus sativus + Vicia faba
Colza + Lentille + Gesse + Féverole

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



Objectifs : réduire les intrants chimiques

Economiser sur l'implantation du colza
Pas d'anti-limaces ni d'insecticide à l'automne
Apport d'azote par les plantes compagnes

France

Sans labour

Climat continental (830 mm/an) T moyenne annuelle min 8,1°C / max 16,9°C

Sol argilo-calcaires

1. Semis

Implantation d'un couvert de légumineuses gélives + 1 dose de colza, en semis direct, dès la récolte d'une paille ou d'un pois (fin Juillet)

2.a Entretien à l'automne

Aucun désherbage, insecticide ou anti-limaces
Poursuite si bon état du peuplement de colza, sinon, conversion en culture d'hiver ou de printemps

2.b Entretien au printemps

1 insecticide non systématique + 1 fongicide

Semis: fin octobre
 simultané décalé

Récolte: mi-juillet
 simultanée décalée

INRAE



Photo: M. Clerc

DÉBOUCHÉS

Colza vendu à une coopérative
Plantes compagnes sans débouchés (plantes de service)

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Investissement minimum à l'implantation du colza : pas de surcoût par rapport à l'implantation d'un couvert hivernal semé systématiquement

Colza vigoureux, peu sensibles aux attaques d'altises qui sont perturbées

Après le gel, le colza est très propre sous les plantes compagnes

En trois ans colza toujours conservé jusqu'à la récolte. Rendement = 2,5-3,0 t/ha



La lentille n'est pas très concurrentielle et peut-être supprimée

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Implantation sans travail du sol le plus tôt possible après la récolte du précédent pour bénéficier de la fraîcheur du sol

Pour un semis régulier, vérifier l'homogénéité du mélange dans la trémie (tri possible en cours de chantier à cause des vibrations)

Semis dense pour bien couvrir le sol et étouffer les mauvaises herbes (140 kg/ha, 80 € de semences)

Colza + Trèfle de Berseem

Brassica napus + Trifolium alexandrinum L.

SRUC



Photo: Bio Centre

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



Objectifs : contrôler l'enherbement

Economiser de l'argent sur l'implantation du colza (lutter contre l'altise)

Apporter de l'azote grâce à la plante compagne

France

Climat océanique (820 mm/an)
T moyenne annuelle min 8,3°C / max 16,7°C

Tous types de sol

DÉBOUCHÉS

Colza vendu à une coopérative pour l'alimentation humaine

Trèfle sans débouché (plante de service)

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Après le gel, le colza est débarrassé des adventices sous les plantes compagnes



La première année, la vesce (*Vicia faba*) a été testée comme culture de couverture. Cependant, comme elle n'était pas très sensible au gel sous le climat océanique, elle a été retirée du panel de plantes compagnes la deuxième année

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Pour un semis homogène, vérifier le mélange dans le semoir (séparation possible lors du semis à cause des vibrations)

Semis dense pour bien couvrir le sol, et pour supprimer les mauvaises herbes.

Densité réduite des légumineuses pour limiter la compétitivité

Si nécessaire, destruction des plantes compagnes par binage à la fin de l'hiver

ITINÉRAIRE TECHNIQUE

1. Semis

Semis de la plante compagne à 8 kg/ha et du colza en pleine dose

2. Entretien

Pendant l'hiver, surveiller la croissance de la plante compagne et la biner une fois si nécessaire

3. Récolte

A la fin de l'hiver, détruire la plante compagne en binant (si elle n'a pas déjà été détruite par le gel)
En juillet, récolte du colza

4. Tri

Aucun

Semis: mi/fin août
 simultanée décalée

Récolte: juillet unique

ITINÉRAIRE TECHNIQUE

Type 5 (n=3)

Mélange de deux cultures
de rente semées en relai
pour une double culture

Triticale + Prairie

Triticosecale + Lolium perenne + Festuca arundinacea + Trifolium repens
Triticale + Ray-grass anglais + Fétuque élevée + Trèfle blanc

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



Objectifs : sécuriser l'implantation de la prairie

Sécuriser la mise en place d'une prairie
Produire une culture de vente en cas de
mauvais développement de la prairie

France

Climat océanique doux (730 mm/an)
T moyenne annuelle min 8,1°C / max 18,7°C
Sol argileux et hydromorphe

1. Préparation du sol

Apport de fumier, puis labour à 20 cm

2.a Semis triticale (25/10)

Semis au semoir combiné à la herse rotative, à 2-3 cm de
profondeur, à 12.5 cm d'inter-rang, et à 80 % de la densité en
pure

2.b Semis prairie (15/03)

- I) Passage de herse étrille
- II) Semis au Delimbe, à 100 % de la densité d'une
prairie seule (ici 150 kg/ha de triticale, 10 kg/ha de
ray-grass, 10 kg/ha de fétuque et 4 kg/ha de trèfles)
- III) Passage de herse étrille et roulage

3. Entretien

Pas de fertilisation Pas de désherbage Pas d'irrigation

4. Récolte

Récolte du triticale en juillet
Déchaumage et réimplantation de la prairie

4. Tri

Aucun

Semis : fin octobre et mi-mars

- simultané
- décalé

Récolte : mi-juillet

- simultanée
- décalée

INRAE



Photo : L. Bedoussac

DÉBOUCHÉS

Triticale destinée à l'alimentation
des vaches (autoconsommation)

Prairie utilisée en fourrage pour les vaches

73

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



La production de triticale est
partiellement satisfaisante (40 t/ha)

Le passage de la herse dans la triticale lors
du semis de la prairie a revigoré la céréale



Le semis de la prairie dans la triticale est
compliqué quand ce dernier est assez haut

L'implantation de la prairie n'est pas
satisfaisante car étouffée par la triticale

La production de triticale est
insuffisante pour couvrir le coût
d'implantation de la prairie

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Semer la prairie en mars permet de
s'assurer que le trèfle ne gèle pas

Réduire la densité de l'orge pour limiter la
concurrence pour la lumière sur la prairie

ITINÉRAIRE TECHNIQUE

Mélange céréales-légumineuses + Prairie



Triticosecale + Avena sativa + Vicia faba + Pisum sativum + Lolium perenne + Lolium multiflorum x Lolium perenne + Trifolium repens + Trifolium pratense + Triticale + Avoine + Féverole + Pois fourrager + Ray-Grass Anglais + Ray-Grass hybride + Trèfle blanc + Trèfle violet

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



DÉBOUCHÉS

Fourrage destiné à l'alimentation des vaches (autoconsommation)
Prairie conservée pendant trois ans

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Méteil très bien développé (7 tonnes de MS/ha)

La prairie est correctement implantée et propre (hormis un peu de vesce et de rumex)

Le trèfle s'est très bien développé et les proportions entre espèces sont bonnes

L'implantation de la prairie est mieux réussie qu'en absence de méteil



Le méteil a dû être fauché avec la prairie car cette dernière était trop haute et le ray grass aurait épié

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Intéressant d'utiliser une variété de pois résistante au froid

Remplacer le triticale dont la valeur alimentaire est assez faible par de l'avoine, plus feuillu et appétant (attention : effet allopathique négatif de l'avoine sur la prairie ?)

L'implantation du trèfle fin octobre est assez risquée car cette plante est sensible au gel

La féverole et l'avoine sont semés à faibles densités pour ne pas qu'ils soient trop présents, mais possibilité de monter à 50 kg/ha pour la féverole

Photo : L. Bedoussac

Blé + Soja en relais

Triticum aestivum + Glycine max



Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



Photo : F. V. Larsen

Objectifs : produire deux cultures en relais

Evaluer la faisabilité de cette association (eau / ensoleillement)

Évaluer le rendement du blé dans les rangs larges et les dommages causés par le semis de printemps

Danemark

Semis direct

Climat continental (614 mm/an)
T moyenne annuelle min 4,9°C / max 11,4°C

Sol limoneux

DÉBOUCHÉS

Destination de la récolte : vente
Utilisation de la production : blé pour l'alimentation animale (8 t/ha)
Le soja n'a pas été récolté

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Le blé semé à double interligne (37 cm) a continué à donner un rendement élevé acceptable de 8 tonnes / ha contre 9,5 (rendement «normal»)



Avec un espacement de deux rangs, la lumière n'était pas suffisante pour la culture du soja. Il n'y avait donc pas de soja à récolter

Le blé a été récolté trop tard pour que le soja se développe suffisamment

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

La lumière et la maturité sont importantes pour la réussite de ces associations. Les céréales doivent mûrir le plus tôt possible. L'orge d'hiver pourrait être mieux adaptée car elle est récoltée un mois plus tôt, vers le 10 juillet. Les céréales doivent être semées avec une plus grande distance entre les rangs afin de laisser plus de lumière pour le soja, par exemple, deux rangs de céréales puis deux rangs de soja et ainsi de suite.

Semis: mi-septembre
 simultané décalé

Récolte: mi-août
 simultanée décalée

ITINÉRAIRE TECHNIQUE

1. Semis de la 1^{ère} culture

Blé semé le 20/09 à une distance de 37 cm entre les rangs. 350 plantes/m²

2. Gestion des cultures

En automne : Roundup + boxer + DFF suivi d'Atlantis

3. Semer la 2^{ème} culture

Soja semé au début du mois d'avril à environ 25 plantes/m²

4. Récolte

Récolte du blé le 10 août.
Le soja n'a pas été récolté

75

74

ITINÉRAIRE TECHNIQUE

Objectifs :

sécuriser l'implantation de la prairie

Sécuriser la mise en place d'une prairie pour produire du fourrage

Avoir une garantie économique en récoltant un fourrage dès la 1^{ère} année si la prairie n'est pas bien implantée

France

Climat océanique dégradé (730 mm/an)
T moyenne annuelle min 8,1°C / max 18,7°C

Sol sableux, acide et assez séchant

1. Préparation du sol

Déchaumage à 5 cm, chaulage, apport de 10 t/ha de fumier de bovin, puis labour à 20 cm

2. Semis

- I) Méteil semé au semoir à double disques, à 2-3 cm de profondeur, à 12,5 cm d'inter-rang et à 50 kg/ha dont 75 % de triticale, 20 % de féverole, 2-3 % d'avoine et 2-3 % de pois
- II) Prairie semée à la volée, au Delimbe, à 25 kg/ha de ray grass et à 10 kg/ha trèfle
- III) Roulage

3. Entretien

Pas de fertilisation Pas de désherbage Pas d'irrigation

4. Récolte

Méteil et prairie fauchés simultanément puis enrubbannés après trois jours de séchage

5. Tri

Aucun

Semis: fin octobre
 simultané décalé

Récolte: mi-mai
 simultanée décalée

Type 6 (n=1)

Une culture de rente avec
une ou plusieurs plantes
compagnes semées en relai

Grand épeautre (ou blé tendre) + Trèfle violet + Trèfle d'Alexandrie

INRAE

Triticum spelta ou *Triticum aestivum* + *Trifolium alexandrinum* + *Trifolium pratense*

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



Objectifs : protéger et couvrir le sol après la récolte

- Protéger et couvrir le sol
- Contrôler les adventices en interculture
- Fixer l'azote pour la culture suivante

France

- Climat océanique dégradé (700 mm/an)
- T moyenne annuelle min 7,9°C / max 18,9°C
- Vallées et coteaux argilo-calcaires

DÉBOUCHÉS

- Grand épeautre et blé vendus à une coopérative mais saturation du marché local suite à de nombreuses conversions à l'AB
- Trèfle-semences pour re-semis ou vente
- Biomasse de trèfles restituée au sol ou récoltée en foin pour les ânes

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



- Bonne implantation des trèfles sous le couvert de céréales
- Couverture du sol rapide et durable pendant l'interculture, grâce aux deux espèces de trèfles avec des dynamiques de croissance complémentaires
- Opportunité de récolter le trèfle d'Alexandrie en semences en fin d'été ou en fourrage pendant l'automne, selon le climat
- Blé tendre à 12.5-13 % de protéine sans apport de matière organique

ITINÉRAIRE TECHNIQUE

1.a Semis de la céréale

Semis à l'automne, de la même façon qu'en culture pure (même préparation de sol, semis et désherbage mécanique)

1.b. Semis des trèfles

Semis au stade tallage, en rangs, au semoir à céréales combiné à l'écrouteuse, et à 10 kg/ha

2. Récolte

Barre de coupe réglée au dessus des trèfles, 20 cm en dessous des épis

3. Destruction des trèfles

Labour à l'hiver ou printemps suivant

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

- Choix d'espèces de trèfles à cycles de vie complémentaires pour assurer une couverture du sol importante pendant tout l'automne
- Choix d'une espèce/variété de céréales haute, à paille longue, pour dominer les trèfles et éviter la compétition
- Utilisation d'espèces et variétés de trèfles non grimpants, afin d'éviter la présence de matière verte dans la moissonneuse

Semis:
 simultané décalé

Récolte:
 simultanée décalée

Type 7 (n=5)

Une culture de rente semée dans un couvert vivant établi préalablement

Blé + Luzerne

Triticum aestivum + Medicago sativa

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



RUC
Roskilde University

Photo: F. V. Larsen

Objectifs : protéger et couvrir le sol après la récolte

Rendement normal pour le blé

Avoir un bon paillis de luzerne prêt à servir de culture de couverture au moment de la récolte du blé et avant la prochaine culture commerciale

Danemark

Techniques sans labour

Climat continental (614 mm/an)

T annuelle moyenne min 4,9°C / max 11,4°C

Sol argileux lourd ou sol limoneux

ITINÉRAIRE TECHNIQUE

1. Semis de la 1^{ère} culture

Blé semé le 20/09 à une distance de 37 cm entre les rangs.
350 plantes/m²

2. Gestion des cultures

En automne : Roundup + boxer + DFF suivi d'Atlantis

3. Semer la 2^{ème} culture

Soja semé au début du mois d'avril
à environ 25 plantes/m²

4. Récolte

Récolte du blé le 10 août.
Le soja n'a pas été récolté

Semis: fin septembre
 simultané décalé

Récolte:
 simultanée décalée

DÉBOUCHÉS

Blé vendu pour l'alimentation animale

Coupe de luzerne utilisée pour l'alimentation des bovins laitiers

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Succès en matière de concurrence et de récolte

La luzerne a servi de dense paillis vivant après la récolte du blé

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Un contrôle efficace des adventives (pulvérisation) a empêché la luzerne de concurrencer le blé

L'année prochaine : utilisation d'un mélange de 4 cultivars de blé récoltés en même temps pour augmenter la diversité et la résistance du blé

Densité de semis élevée du blé pour assurer la compétitivité de la luzerne

Maïs + Trèfle violet

Zea mays + Trifolium pratense

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



INRAE



Objectifs : produire du maïs en limitant l'érosion et l'enherbement

Limiter l'érosion du sol et la présence d'adventices

Avoir une plante compagne qui restitue de l'azote et de la matière organique

France

Technique culturale simplifiée

Climat océanique dégradé (700 mm/an)
T moyenne annuelle min 7,9°C / max 18,9°C

Sol argilo-calcaire, en pente

1. Préparation du sol

Aucun

2. Semis

- I) Trèfle semé l'année d'avant, dans le blé en fin tallage, en surface, et à 10 kg/ha (70 % de la culture pure)
- II) Passage de herse écrouteuse
- III) Maïs semé en Avril, dans le trèfle, au semoir monograine, à 4-5 cm de profondeur, à 6.5 plants/m², et à 1.25 m ou 60 cm d'inter-rang

3. Entretien

10 t/ha de fumier de cheval au stade 5-6 feuilles
Trois passages de broyeur et un passage de bineuse
Pas d'irrigation

4. Récolte

Récolte du maïs uniquement
Trèfle détruit en juin

5. Tri

Aucun

Semis: avril

- simultané décalé

Récolte: mi-octobre

- simultanée décalée

DÉBOUCHÉS

Maïs vendu à une coopérative pour l'alimentation animale

Trèfle sans débouché (plante de service)

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



La présence du couvert sur ce type de sol, en pente, permet de limiter l'érosion (semis perpendiculaire à la pente)

Le blé semé l'année suivante est bien plus vert sur la zone qui avait été associée avec du trèfle

Le binage a permis de réduire d'environ 60 % le stock semencier (« le blé semé après la récolte du maïs est bien plus propre dans la zone qui avait été binée »)



Rendement bien meilleur avec un écartement de 1.25 m vs. 0.60 m



Le couvert a été abondant et a consommé trop d'eau concurrençant le maïs qui s'est mal développé (50-60 cm de haut)

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

L'association peut être intéressante à envisager avec de l'irrigation, mais à évaluer car cela risque de favoriser le couvert

Envisager de semer les 2 espèces en même temps (trèfle dans l'inter-rang).

Dans ce cas le couvert ne sera qu'au stade plantule pendant les premiers stades de développement du maïs et sa consommation en eau sera réduite, mais l'effet sur la réduction de l'érosion du sol sera moindre

Luzerne + Mélange de cultures

Medicago sativa + Triticum aestivum + Avena sativa + Vicia faba + Vicia sativa + Pisum sativum
Blé + Avoine + Féverole + Vesce + Pois

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



Objectifs : augmenter la production et la qualité du fourrage

Augmenter le rendement/qualité fourragère

Limiter l'enherbement de la luzerne en hiver

Conduire des cultures rustiques et économes

Haute-Garonne, France

Semis direct sous couvert

Climat océanique dégradé (640 mm/an)
T moyenne annuelle min 9,1°C / max 18,5°C

Sols à horizons argilo-limono-calcaires (jusqu'à 60% d'argile, 2.3% de MO)

DÉBOUCHÉS

Fourrages autoconsommés dans l'atelier bovins viande

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Bonne gestion du salissement de la luzerne sans désherbage. Le méteil prend la place de la luzerne pendant l'hiver. Au démarrage de la luzerne, le méteil est assez vigoureux pour résister à la concurrence

Première coupe de printemps de qualité et en quantité : 5 à 8 t/ha



Le coût de semences du méteil est cher (100 €/ha)

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Implantation de la luzerne après un soja, pour avoir de la terre fine et donc limiter les limaces

Mélange de graines homogène dans le semoir à partir de trois graines différentes dans le mélange

Pas de seigle car peu appétant pour les animaux

1.a Semis luzerne

Semis au printemps, à 18-25 kg/ha

1.b Semis méteil

Semis direct après la première coupe d'automne de luzerne, à 1-2 cm, et à 120 kg/ha (320 gr/m², dont 75% de légumineuses)

2. Récolte

Enrubannage du mélange en mai, puis coupe de luzerne tous les 70 jours

3. Conservation de la luzerne

Luzerne maintenue 4-5 ans
Méteil re-semé chaque année.
Aucune fertilisation sauf la dernière année, avant un blé d'hiver

Semis:

- simultané décalé

Récolte:

- simultanée décalée



Tournesol + Trèfle violet

Helianthus annuus + Trifolium pratense

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



INRAE



Objectifs : produire du tournesol en limitant l'érosion et l'enherbement

Limiter l'érosion du sol et la présence d'adventices

Avoir une plante compagne qui restitue de l'azote et de la matière organique

France

Technique culturale simplifiée

Climat océanique dégradé (700 mm/an)
T moyenne annuelle min 7,9°C / max 18,9°C

Sol argilo-calcaire en pente

1. Préparation du sol

Aucun

2. Semis

- I) Trèfle semé l'année d'avant, dans le blé en fin tallage en surface, et à 10 kg/ha (70 % de la culture pure)
- II) Passage de herse écrouteuse
- III) Tournesol semé en avril, dans le trèfle, au semoir mono-graine, à 4-5 cm de profondeur, à 6.5 plants/m², et à 1.25 m ou 60 cm d'inter-rang

3. Entretien

0,5 t/ha de fiente de volaille
Trois passages de broyeur et un passage de bineuse
Pas d'irrigation

4. Récolte

Récolte du tournesol uniquement
Trèfle détruit mécaniquement en juin

5. Tri

Aucun

Semis: avril n-1 et mi-avril n
 simultané décalé

Récolte: début septembre
 simultanée décalée

Pois + Orge + Trèfle incarnat

Pisum sativum + Hordeum vulgare + Trifolium incarnatum

RUC
Roskilde University

Productions :

- grains pour alim. humaine
- grains pour alim. animale
- fourrage



Objectifs : produire un aliment complet et protéger le sol après la récolte

Fixer l'azote grâce au pois et au trèfle (diminution du besoin de fertilisation en azote)

Danemark

Non labour

Climat continental (523 mm/an)
T moyenne annuelle min 7,9°C / max 18,9°C

Sol sablo-limoneux

- 1.a Semis du trèfle**
Semis direct du couvert à 10 kg/ha
- 1.b Semis du pois et de l'orge**
Semis direct du mélange de culture.
Orge à 150 plants/m²
et pois à 40 plants/m²

2. Entretien

Application d'herbicide (Round up) 01-03 (n)
Application d'herbicide (Fighter) 18-04 (n)
Application de fongicide (Comet Pro) 25-05 (n)

3. Récolte

Moisson de l'orge et du pois.
Trèfle maintenu comme couvert végétal

Semis: mi-août - mi-avril
 simultané décalé

Récolte: début août
 simultanée décalée

DÉBOUCHÉS

Tournesol vendu à une coopérative pour l'alimentation humaine

Trèfle sans débouché (plante de service)

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



La présence du couvert sur ce type de sol, en pente, permet de limiter l'érosion (semis perpendiculaire à la pente)

Le blé semé l'année suivante est bien plus vert sur la zone qui avait été associée avec du trèfle

Le binage a permis de réduire d'environ 60 % le stock semencier (« le blé semé après la récolte de tournesol est bien plus propre dans la zone qui avait été binée »)



Pas de différence de rendement entre les écartements de 1.25 m vs. 0.60 m



Le couvert a été trop abondant et a consommé trop d'eau. Il a concurrencé le tournesol qui s'est donc très mal développé (50 % de la hauteur par rapport à la culture pure)

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

L'association peut être intéressante à envisager avec de l'irrigation mais à évaluer car risque de favoriser le couvert

Envisager de semer les 2 espèces en même temps (trèfle dans l'inter-rang). Dans ce cas le couvert ne sera qu'au stade plantule pendant les premiers stades de développement du tournesol et sa consommation en eau sera réduite, mais l'effet sur la réduction de l'érosion du sol sera moindre

DÉBOUCHÉS

Orge et pois vendus à un voisin et utilisés pour l'alimentation des porcs

ÉVALUATION PAR LES AGRICULTEURS



Implantation réussie et lutte efficace contre les adventices

La répartition des espèces correspond à la répartition initiale des plantes semées, il n'y a donc pas de problèmes majeurs de concurrence entre les espèces

Les trois espèces semblent se compléter pendant la saison de croissance



Utilisation trop tardive des fongicides
Faible rendement (3 t/ha)

CONDITIONS DE RÉUSSITE, FACTEURS D'ÉCHEC, RISQUES LIÉS À LA PRATIQUE ET IDÉES

Il peut être avantageux d'ajouter un peu d'engrais au mélange pour augmenter le rendement

Il pourrait être possible d'augmenter la quantité de pois

04

Récolte et tri des mélanges



Une évaluation en conditions réelles

Associer les espèces semble être une solution intéressante pour une agriculture plus résiliente et durable, en accord avec les urgences écologiques contemporaines. Aujourd'hui, la principale difficulté à leur mise en œuvre à plus grande échelle réside dans la capacité à récolter et séparer les grains avec les machines dont on dispose. En effet, le plus souvent, les mélanges ne peuvent pas être commercialisés en l'état, en particulier pour l'alimentation humaine.

Or la faisabilité de cette séparation dépend des espèces associées mais également de la qualité de la récolte. Il est donc nécessaire de proposer des solutions aux agriculteurs pour optimiser le couple récolte-tri et accroître la valorisation économique de ces mélanges.

D'un point de vue théorique, il serait envisageable de développer des machines spécifiques (notamment des moissonneuses-batteuses «double» adaptées aux cultures associées). Cependant, le coût de développement de ce matériel et le

marché existant rendent cette option peu réaliste. Dès lors, il apparaît plus raisonnable d'optimiser le matériel existant en évaluant la faisabilité de récolter puis trier les mélanges d'espèces.

La question à laquelle nous avons cherché à répondre est : **« Peut-on récolter et trier des cultures associées de sorte que les produits commercialisés respectent les normes alimentaires ? »**, ce qui conduit à formuler plusieurs autres questions :

- Dans quelle mesure le choix des réglages d'une moissonneuse impacte la qualité de la récolte d'une association d'espèces et peut-on limiter les pertes et la casse des grains lors de la récolte ?
- Quelles sont les caractéristiques des produits qui permettent un tri efficace et à moindre coût ?
- Quel est le meilleur couple récolte-tri pour optimiser la performance économique des mélanges ?

Un partenariat avec deux industriels

Pour répondre à ces différentes questions, le projet **ReMIX** a intégré des partenaires industriels, qui, au-delà de fournir les machines agricoles, ont apporté une expertise essentielle autour de deux tâches distinctes mais interdépendantes :

- La première, assurée par **le groupe AGCO**, concerne la récolte des associations d'espèces et le choix des réglages de la moissonneuse-batteuse pour minimiser les pertes et la quantité de grains cassés pour en faciliter le tri *a posteriori* ;
- La seconde concerne la séparation des grains, assurée par **les établissements Denis**, consistant à tester la faisabilité du tri des lots récoltés avec différents réglages de moissonneuse-batteuse en minimisant le taux d'impuretés dans les produits à commercialiser ainsi que les pertes lors du tri.

Figure 15 • Moissonneuse-batteuse Laverda M410 récoltant un mélange blé-Lupin



Figure 16 • Moissonneuse-batteuse New Holland TC5.90

agriculture.newholland.com



Quatre mélanges testés

Au cours de la récolte 2020, nous nous sommes intéressés à différentes cultures associées, choisies de façon à balayer un large panel de caractéristiques qui constituent autant de contraintes à prendre en considération aussi bien pour la récolte que pour le tri et qui concernent notamment la taille des grains, leur forme ou encore la sensibilité des espèces au battage.

Les essais ont été réalisés dans une exploitation du Sud-Ouest de la France (FR) ainsi que sur trois exploitations situées au Danemark (DK). Au total, quatre associations différentes ont été testées :

- Blé-lentille (FR) ;
- Blé-lupin (DK) ;
- Colza-pois (DK) ;
- Orge-pois (DK).

Moissonneuse-batteuse et réglages

Les récoltes ont été opérées par AGCO au moyen d'une moissonneuse-batteuse Laverda M410 (**Figure 15**) à l'exception de l'association blé-lentille récoltée par un agriculteur au moyen d'une moissonneuse-batteuse New Holland TC5.90 (**Figure 16**).

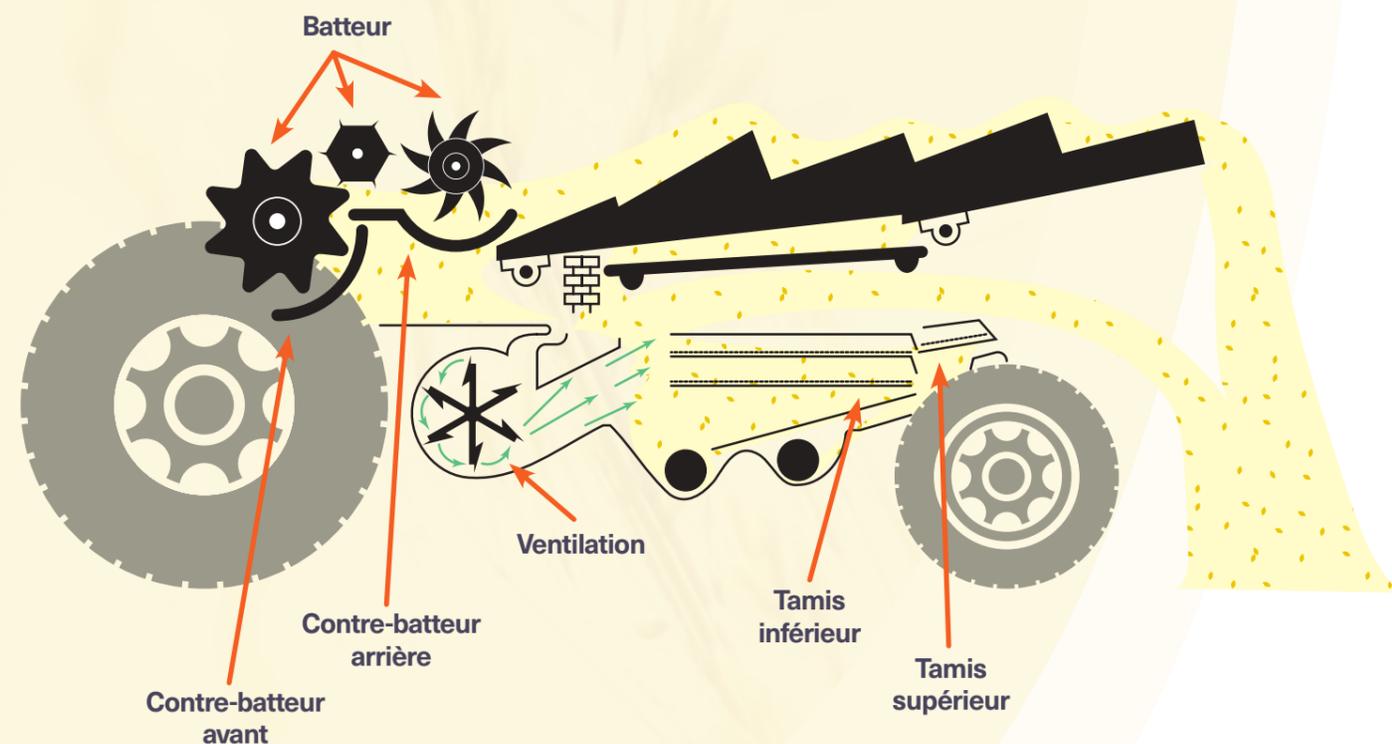
Pour chaque culture associée, un premier jeu de réglages a été choisi à dire d'expert (Run 1 : Test). Toujours à dire d'expert, les réglages ont été adaptés jusqu'à obtenir une récolte jugée satisfaisante en termes de taux de grains cassés, de grains perdus lors de la récolte, d'épis ou de gousses non battues (Run 2 : Référence).

À partir des réglages du Run 2 de référence, nous avons fait varier les paramètres de la moissonneuse-batteuse (**Figure 17**) un à un de la façon suivante (voir détails dans le **Tableau 4**) :

- Vitesse de rotation du batteur (Run 3 : +25% ; Run 4 : -25%) ;
- Vitesse de rotation du ventilateur (Run 5 : +25% ; Run 6 : -25%) ;
- Espacement entre batteur et contre-batteur (Run 7 : +25% ; Run 8 : -25%) sachant que dans le cas de la Laverda M410 cet espace peut être réglé de façon différente en entrée et en sortie contrairement à la New-Holland TC5.90 pour laquelle il est fixe ;
- Ouverture des tamis supérieur et inférieur (Run 9 : +25% ; Run 10 : -25%).

Pour chaque Run, entre 291 kg et 609 kg ont été récoltés et une estimation de la quantité de grains perdus lors de la récolte a été réalisée grâce à un plateau déposé au sol lors du passage de la moissonneuse.

Figure 17 • Schéma de fonctionnement d'une moissonneuse-batteuse (A. Morrison)



4. Récolte et tri des mélanges

Tableau 4 • Récapitulatif des réglages de la moissonneuse-batteuse et du trieur testés pour chaque association d'espèces testée

Run	Masse (kg)	Récolte							Separation with SVD 100			
		Vitesse (km/h)	Batteur (tpm)	Ventilation (tpm)	Serrage (mm)		Tamis (mm)		Premier tri		Second tri	
					Sortie	Entrée	Supérieur	Inférieur				
Blé-Lentille (FR) New Holland TC5.90												
1 : Test	552	3,25	740	780	9	9	5	4	Blé-Lentille propre (petits à moyens)		Fraction blé (gros) Fraction lentille (petits à moyens)	
2 : Réf.	321	3,25	680	790	11	11	6	5	Grilles supérieures (mm)		Grilles supérieures (mm)	
3	325	3,25	850	790	11	11	6	5	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie
4	338	3,25	510	790	11	11	6	5	6.0 rond	5.5 rond	2.50x20	2.50x20
5	305	3,25	680	970	11	11	6	5	Grilles inférieures (mm)		Grilles inférieures (mm)	
6	360	3,25	680	610	11	11	6	5	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie
7	291	3,25	680	790	14	14	6	5	3.0 rond	1.75x20	Pleine	Pleine
8	298	3,25	680	790	8	8	6	5	Ventilation (de 1 à 5)		Ventilation (de 1 à 5)	
9	372	3,25	680	790	11	11	8	7	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie
10	387	3,25	680	790	11	11	4	3	3	4	1	2
Colza-Pois (DK) Laverda M410												
1 : Test	509	1,50	600	450	15	25	12	8	Pois propre (petits à moyens) Colza sale (criblures)		Colza propre (petits à moyens)	
2 : Réf.	525	3,00	600	800	10	15	12	8	Grilles supérieures (mm)		Grilles supérieures (mm)	
3	609	3,00	750	800	10	15	12	8	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie
4	332	3,00	450	800	10	15	12	8	11 rond	10 rond	3 rond	2.75 rond
5	323	3,00	600	1000	10	15	12	8	Grilles inférieures (mm)		Grilles inférieures (mm)	
6	369	3,00	600	600	10	15	12	8	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie
7	331	3,00	600	800	13	19	12	8	4.50x20	4.00x20	Pleine	1.60 rond
8	346	3,00	600	800	7	11	12	8	Ventilation (de 1 à 5)		Ventilation (de 1 à 5)	
9	358	3,00	600	800	10	15	15	10	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie
10	339	3,00	600	800	10	15	9	6	3	3	3	1
Orge-Pois (DK) Laverda M410												
1 : Test	360	3,00	800	800	10	15	14	10	Orge propre (petits à moyens) Pois sale (gros)		Pois propre (petits à moyens)	
2 : Réf.	438	4,00	600	950	15	25	14	10	Grilles supérieures (mm)		Grilles supérieures (mm)	
3	416	4,00	750	950	15	25	14	10	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie
4	427	4,00	450	950	15	25	14	10	6.0 rond	6.0 rond	11 rond	10 rond
5	383	4,00	600	1050	15	25	14	10	Grilles inférieures (mm)		Grilles inférieures (mm)	
6	501	4,00	600	700	15	25	14	10	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie
7	486	4,00	600	950	19	31	14	10	2.10x20	3.0 rond	4.00x20	4.50x20
8	440	4,00	600	950	11	19	14	10	Ventilation (de 1 à 5)		Ventilation (de 1 à 5)	
9	368	4,00	600	950	15	25	18	13	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie
10	368	4,00	600	950	15	25	10	7	3	2	4	3
Blé-Lupin (DK) Laverda M410												
1 : Test	343	3,50	800	850	3	12	11	8	Blé propre (petits à moyens) Lupin propre (gros)			
2 : Réf.	350	3,50	790	850	7	12	11	8	Grilles supérieures (mm)			
3	345	3,50	990	850	7	12	11	8	Entrée	Sortie		
4	345	3,50	590	850	7	12	11	8	5.0 rond	5.0 rond		
5	318	3,50	790	1050	7	12	11	8	Grilles inférieures (mm)			
6	352	3,50	790	640	7	12	11	8	Entrée	Sortie		
7	358	3,50	790	850	9	15	11	8	2.10x20	3.0 rond		
8	347	3,50	790	850	5	9	11	8	Ventilation (de 1 à 5)			
9	337	3,50	790	850	7	12	14	10	Entrée	Sortie		
10	335	3,50	790	850	7	12	8	6	4	2		

Tri au séparateur vibrant SVD 100

Le tri des lots récoltés a ensuite été réalisé avec le séparateur vibrant SVD 100 des établissements Denis (Figure 18) qui est un trieur à plat équipé de deux souffleries (une en entrée et une en sortie) et comprenant deux étages superposés de deux grilles, soit un total de quatre grilles pouvant être choisies indépendamment.

Figure 18 • Séparateur vibrant SVD 100

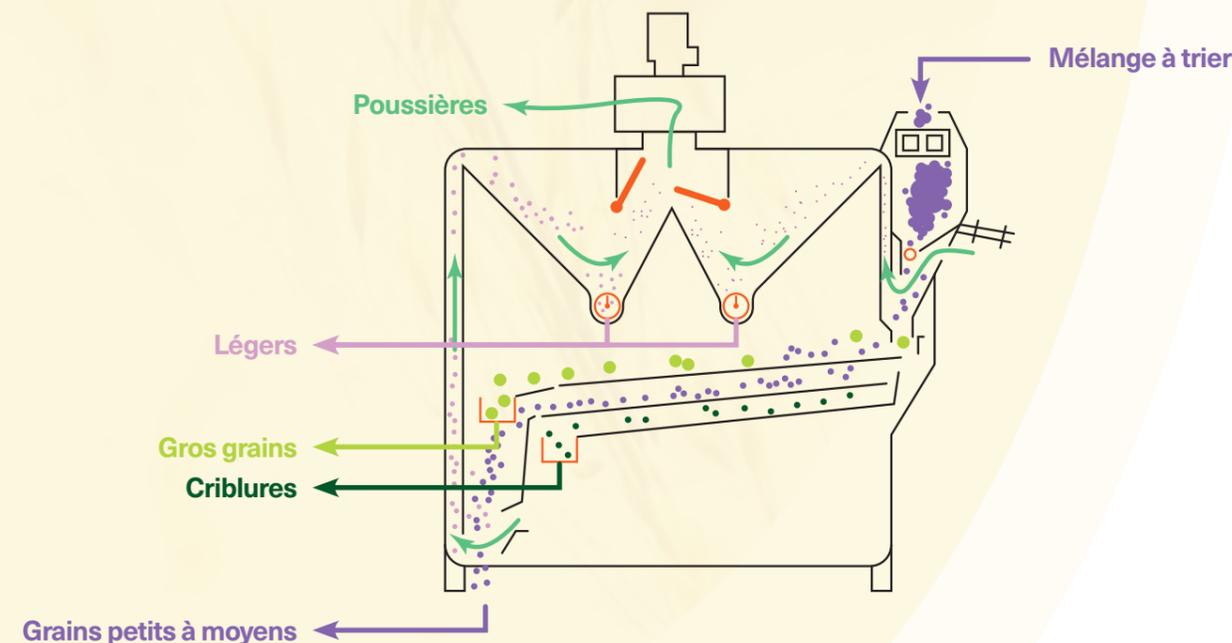


Sous l'effet des vibrations, le SVD 100 permet de séparer les lots en cinq fractions (Figure 19) :

- Les impuretés très légères sont éliminées par la sortie « Poussières » par les deux souffleries situées en entrée et en sortie ;
- Les impuretés légères sont éliminées par la sortie « Légers » par les deux souffleries situées en entrée et en sortie ;
- Les petites particules sont collectées par la sortie « Criblures » et correspondent à la fraction passant au travers des grilles de l'étage supérieur puis au travers des grilles de l'étage inférieur ;
- Les grosses particules sont collectées dans la sortie « Gros grains » et correspondent à la fraction ne passant pas au travers des grilles de l'étage supérieur ;
- Les particules de taille intermédiaire sont collectées par la sortie « Grains petits à moyens » et correspondent à la fraction passant au travers des grilles de l'étage supérieur, mais pas au travers de celles de l'étage inférieur.

Pour chaque association, le choix des grilles (forme et taille des trous) a été fait à dire d'expert par les opérateurs des Etablissements Denis à partir de tests manuels sur de petits échantillons (voir détails dans le Tableau 4).

Figure 19 • Schéma légendé du trieur SVD 100



Évaluation de la qualité des lots

Pour chaque lot récolté, la masse introduite dans le trieur a été pesée, tout comme la masse obtenue à chaque sortie après tri afin de quantifier les pertes lors du tri. Un sous-échantillon représentatif de 100 à 200 g a été prélevé dans chaque sortie avant d'être trié manuellement en sept fractions :

- **Les grains entiers** des espèces du mélange ;
- **Les grains cassés** des espèces du mélange ;
- **Les grains non battus** des espèces du mélange ;
- **Les grains ratatinés** des espèces du mélange ;
- **Le matériel végétal** autre (feuilles, pailles, ...) ;
- **Le matériel inorganique** (terre et cailloux) ;
- **Le matériel animal** (insectes).

Chaque fraction a ensuite été passée à l'étuve à 80°C pendant 48h puis pesée permettant ainsi d'estimer la composition en matière sèche de l'échantillon récolté.

Sur la base du *Codex alimentarius*, nous avons choisi d'appliquer les taux maximum d'impuretés suivants pour toutes les espèces :

- **5.0%** de grains cassés, ratatinés ou non battus ;
- **1.5%** de matière végétale autre (feuilles, pailles, grains d'autres espèces...);
- **0.5%** de matière inorganique (terre et cailloux) ;
- **0.1%** de matière d'origine animale.

Composition de la récolte au tri

Composition des lots à la récolte

Nous avons analysé la composition de chacun des lots récoltés en distinguant : I) les grains « potentiellement commercialisables » des espèces en mélange qui correspondent aux grains entiers, cassés et non battus ; et II) les impuretés de tout ordre (grains ratatinés, impuretés inorganiques, impuretés d'origine animale et impuretés végétales autres). À noter que les grains ratatinés sont de fait non commercialisables et ce indépendamment des réglages de la moissonneuse-batteuse et ont donc été inclus dans les impuretés.

En moyenne, la proportion des deux espèces varie fortement en fonction des mélanges (**Figure 20**), avec un bon équilibre entre les deux espèces pour le mélange orge-pois (47% vs. 43%), alors que la légumineuse est majoritaire dans les mélanges blé-lentille (32% vs. 50%) et blé-lupin (31% vs. 65%) et très majoritaire dans le cas du colza-pois (7% vs. 86%). **La variabilité de la proportion des deux espèces entre les mélanges s'explique par les itinéraires techniques mis en œuvre par les agriculteurs (choix des espèces et des**

densités notamment) en interaction avec le contexte pédoclimatique.

Pour un mélange donné, on observe que la proportion des deux espèces varie également, ce qui s'explique avant tout par l'hétérogénéité des parcelles (Figure 20) qui est particulièrement marquée pour les associations blé-lentille et orge-pois avec une proportion de légumineuse qui varie de 42% à 61% et de 37% à 51% respectivement.

Nos résultats montrent que les niveaux d'impuretés varient selon les mélanges, avec des valeurs faibles pour le blé-lupin (4%), intermédiaires pour les mélanges colza-pois (7%) et orge-pois (10%), et élevées pour l'association blé-lentille (18%). La variabilité des taux d'impuretés selon les mélanges s'explique par une combinaison de facteurs (espèces, enherbement de la parcelle et réglages de la moissonneuse-batteuse).

Pour un mélange donné, le pourcentage d'impuretés varie selon les lots, en lien direct avec les réglages de la moissonneuse-batteuse. Cette hypothèse est soutenue par le fait que le pourcentage d'impuretés ne dépend pas de la proportion des deux espèces, même si nous ne pouvons pas

totale exclure un effet lié à l'hétérogénéité de la parcelle, notamment en terme d'enherbement. À noter que cette variabilité est particulièrement marquée pour le mélange blé-lentille avec des taux d'impuretés variant de 9% à 29%, et, dans une moindre mesure, pour le mélange orge-pois avec des valeurs comprises entre 7% et 13%.

Des lots récoltés non conformes

La valeur économique des lots dépend de la quantité de chaque type d'impuretés dont les valeurs maximales ont été définies précédemment : I) grains non commercialisables (cassés, non battus et ratatinés) dont le seuil maximal est 5% ; II) impuretés inorganiques (terre et cailloux) dont le seuil maximal est 0.5% ; III) impuretés végétales autres dont le seuil maximal est 1.5% ; et enfin IV) impuretés d'origine animale dont le seuil maximal est 0.1%. **À noter que tous les lots récoltés présentent moins de 0.1% d'impuretés d'origine animale, si bien qu'elles ne seront pas prises en considération par la suite.**

D'un point de vue méthodologique, les lots récoltés correspondant à des mélanges d'espèces, nous avons considéré que les grains cassés, non battus et ratatinés des deux espèces rentraient dans la catégorie des grains non commercialisables, alors que les grains d'autres espèces étaient considérés dans les impuretés autres.

L'analyse détaillée des impuretés des lots au regard des seuils maximum autorisés (**Figure 21**) **montre qu'à l'issue de la récolte, aucun des lots de blé-lentille ne respecte les normes et notamment en raison de taux d'impuretés autres compris entre 7.7% et 26.2% et des taux de matière inorganique compris entre 0.9% et 4.9%**. Ces derniers s'expliquent par une récolte faite le plus bas possible afin de collecter un maximum de grains de lentille, mais avec pour conséquence la récupération de particules de terre.

De même, aucun des lots de colza-pois et d'orge-pois ne sont aux normes, avec respectivement des taux d'impuretés autres compris entre 1.4% et 6.0% et entre 6.1% et 11.5%.

À l'inverse, 40% des lots de blé-lupin sont conformes aux normes (lots 3, 5, 7 et 8) et les lots 2 et 4 en sont très proches avec respectivement 1.7% et 1.6% d'impuretés autres.

Pertes liées à la récolte *sensu stricto*

Sur la base des mesures faites à la récolte, nous avons considéré que la quantité de grains non collectés par la moissonneuse-batteuse était négligeable et surtout comparable entre les différents réglages, si bien que nous considérerons ces pertes comme nulles par la suite.

Comme nous venons de le voir, les lots récoltés présentent une proportion non négligeable de grains non commercialisables (grains cassés, non battus et ratatinés). Nous avons donc **comparé l'effet des réglages de la moissonneuse-batteuse sur le taux de grains non commercialisables**, sans prendre en compte les grains ratatinés. En effet, leur proportion est indépendante des réglages choisis et ils ne doivent donc pas être considérés comme des pertes liées à la récolte.

4. Récolte et tri des mélanges

Figure 20 • **Composition des lots à la récolte en pourcentage de matière sèche en distinguant, pour chaque espèce, la partie « potentiellement commercialisable », correspondant aux grains entiers, cassés et non battus, et le reste regroupant les impuretés diverses (grains ratatinés, impuretés inorganiques, impuretés d'origine animale et impuretés végétales autres)**

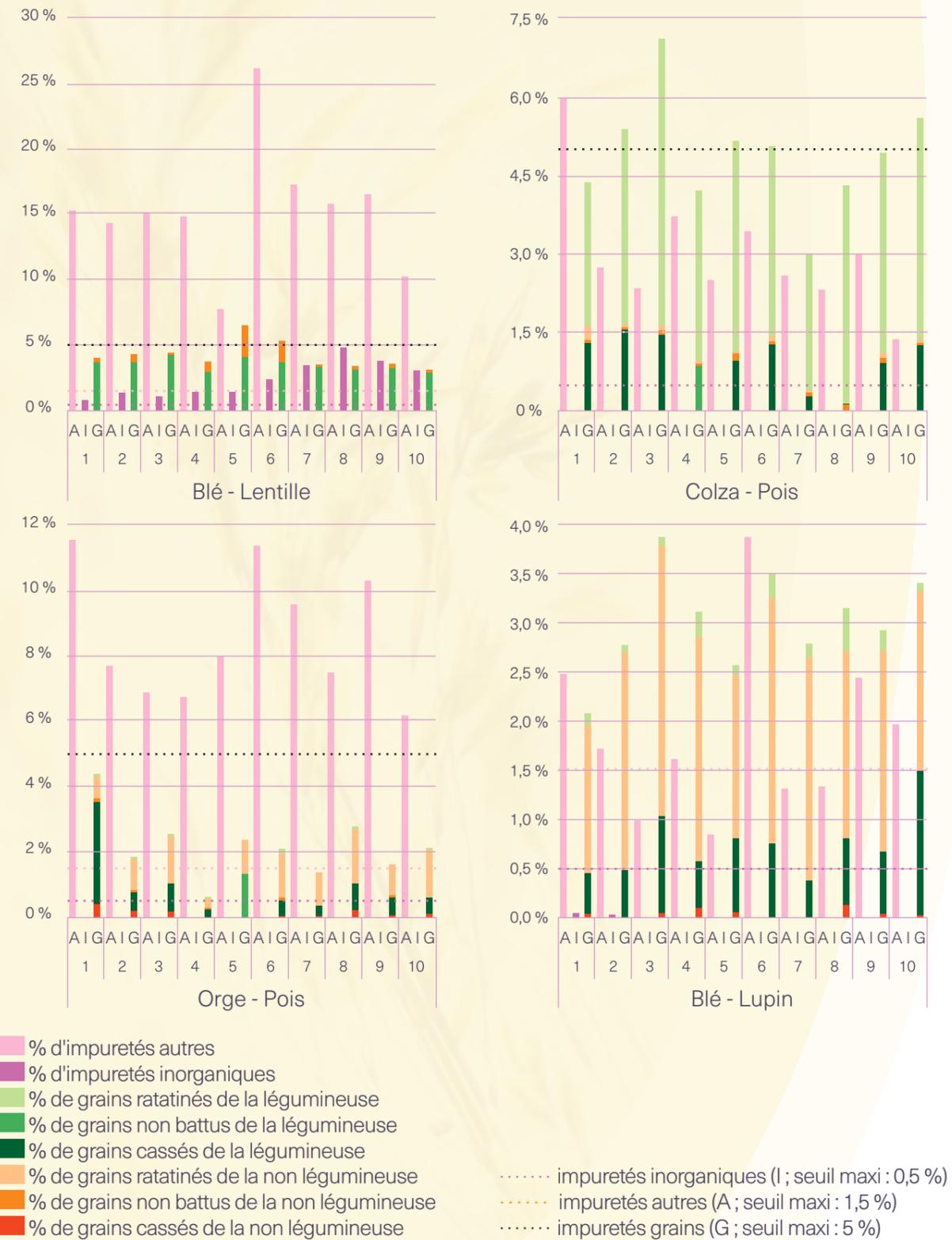
Les nombres indiqués au-dessus des espèces correspondent à l'identifiant des lots.



- % d'impuretés diverses
- % de grains potentiellement commercialisables de la légumineuse
- % de grains potentiellement commercialisables de la non légumineuse

Figure 21 • **Pourcentage d'impuretés dans les lots à la récolte en pourcentage de la matière sèche récoltée en termes d'autres impuretés végétales (A), de matière inorganique (I ; terre et cailloux) et de grains non commercialisables (G ; cassés, non battus et ratatinés)**

Les traits pointillés indiquent les normes maximales autorisées.
Les nombres indiqués au-dessus des espèces correspondent à l'identifiant des lots.



- % d'impuretés autres
- % d'impuretés inorganiques
- % de grains ratatinés de la légumineuse
- % de grains non battus de la légumineuse
- % de grains cassés de la légumineuse
- % de grains ratatinés de la non légumineuse
- % de grains non battus de la non légumineuse
- % de grains cassés de la non légumineuse
- ⋯ impuretés inorganiques (I ; seuil maxi : 0,5 %)
- ⋯ impuretés autres (A ; seuil maxi : 1,5 %)
- ⋯ impuretés grains (G ; seuil maxi : 5 %)

4. Récolte et tri des mélanges

Afin de comparer les différents lots, et à travers eux les différents réglages, **nous avons choisi d'exprimer le taux de grains cassés et non battus en fonction de la masse potentiellement commercialisable**. En effet, celle-ci correspond au cas d'une récolte parfaite permettant de battre tous les grains sans générer de grains cassés. Cette situation est bien sûr théorique, mais représente un objectif vers lequel tendre.

Nos résultats montrent que **les pertes à la récolte sont relativement limitées, avec en moyenne pour les 40 lots, seulement 1.9% des grains potentiellement commercialisables, cassés ou non battus à la récolte (Figure 22)**.

Ces pertes sont systématiquement moindres pour la non légumineuse que pour la légumineuse (2.3% vs. 7.1% pour le blé-lentille, 0.8% vs. 1.2% pour le colza-pois, 0.4% vs. 2.0% pour l'orge-pois et 0.2% vs. 1.1% pour le blé-lupin). Du fait que le pourcentage de grains cassés et non battus ne dépend pas de la proportion des deux espèces (résultat non montré), nous pouvons considérer que ces différences s'expliquent par une sensibilité au battage plus forte des légumineuses en lien avec les réglages choisis visant à battre correctement les mélanges pour limiter les pertes au champ.

De même, nos résultats montrent que, **pour une espèce donnée dans un mélange donné, le pourcentage de grains cassés et non battus varie selon les lots, là-encore du fait des réglages de la moissonneuse-batteuse**. Cette variabilité est particulièrement marquée dans le cas du blé associé à la lentille avec des valeurs comprises entre 0.2% et 8.1% tout comme dans le cas de la lentille (5.5% à 9.0%) ou du pois associé à l'orge (0.6% à 8.0%). À l'inverse, les différents réglages ont eu un effet limité sur les pertes de colza (0.1% à 1.5%), de pois associé au colza (0.0% à 1.8%), de l'orge (0.0% à 1.0%) du blé associé au lupin (0.0% à 0.4%) et du lupin (0.6% à 2.3%). Ces résultats traduisent l'effet de la gamme de réglages testés en lien avec la sensibilité des espèces au battage et le contexte pédoclimatique.

Cependant, **il n'est pas pertinent de comparer le pourcentage de grains cassés et non battus du blé entre les associations blé-lentille et blé-lupin, tout comme celui du pois entre les associations colza-pois et orge-pois**. En effet, il ne s'agit pas des mêmes variétés, pas des mêmes réglages de moissonneuse-batteuse et ces associations n'ont pas été cultivées dans les

mêmes contextes pédoclimatiques, avec pour conséquence une variabilité en terme d'humidité des grains à la récolte.

À noter **le cas particulier de la lentille pour laquelle les pertes sont beaucoup plus élevées que pour les autres espèces, ce qui s'explique certainement par des grains fragilisés du fait de leur infestation par des bruches**. Notre protocole ne permet pas de valider totalement cette hypothèse, sans quoi ces grains (au même titre que les grains ratatinés) n'auraient pas dû être considérés comme des pertes liées à la récolte car indépendants des réglages choisis.

Le tri pour réduire les impuretés

Les lots récoltés correspondent à des mélanges d'espèces dont les taux d'impuretés sont quasi systématiquement supérieurs aux normes, si bien que leur valeur économique s'en trouve fortement réduite. Dès lors, **un tri est nécessaire pour, d'une part, éliminer un maximum d'impuretés et, d'autre part, séparer les deux espèces**.

Dans la grande majorité des cas, il n'est pas possible, en un seul passage dans le trieur, de réaliser conjointement le nettoyage du mélange et la séparation des deux espèces. Dans le cas présent et comme indiqué dans le **Tableau 4, la finalité du tri dépend des mélanges d'espèces à savoir** : I) nettoyer le mélange blé-lentille ; II) séparer le colza du pois en nettoyant le pois ; III) séparer l'orge du pois en nettoyant l'orge ; et IV) séparer le blé du lupin en nettoyant le blé.

Comme lors de la récolte, une partie des grains commercialisables est éliminée avec les impuretés car emportée par le flux de matière, sans avoir le temps de passer à travers les grilles. Nos résultats montrent que **les pertes de grains commercialisables, lors du tri, sont négligeables** avec : I) 0.1% de blé et de lentille (non montré) ; II) 0.02% de pois et de colza (non montré) ; III) 2.7% d'orge et 0.2% de pois (Figure 23) ; et IV) 2.1% de blé et 0.3% de lupin (Figure 23).

Nous avons analysé la composition des différents lots au regard des seuils d'impuretés après tri (Figure 24 et Figure 25). **Nos résultats montrent qu'après un seul tri, aucun des lots de blé-lentille ne respecte les normes définies**, principalement en raison du taux d'impuretés autres (3.1% en moyenne variant de 0.4% à 7.7%), mais

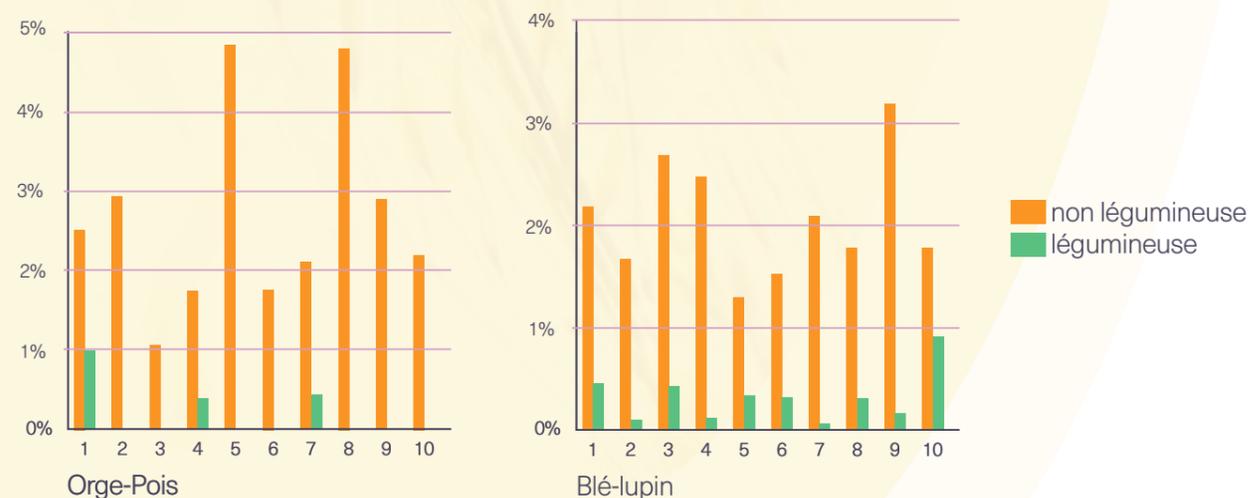
Figure 22 • Pourcentage de grains cassés et non battus lors de la récolte pour la légumineuse et la non légumineuse exprimé en fonction de la masse « potentiellement commercialisable » de chaque espèce correspondant aux grains entiers, cassés et non battus

Les nombres indiqués au-dessus des espèces correspondent à l'identifiant des lots.



Figure 23 • Pourcentage de grains entiers perdus lors du tri, exprimé en pourcentage du total de grains entiers avant tri pour la non légumineuse et la légumineuse

Les nombres indiqués au-dessus des espèces correspondent à l'identifiant des lots.



4. Récolte et tri des mélanges

Figure 24 • Composition des lots, après un premier tri, en pourcentage de matière sèche en distinguant, pour chaque espèce, la partie commercialisable correspondant aux grains entiers et le reste regroupant les impuretés diverses (grains cassés, non battus ratatinés, impuretés inorganiques, impuretés d'origine animale et impuretés végétales autres)

Les nombres indiqués au-dessus des espèces correspondent à l'identifiant des lots.

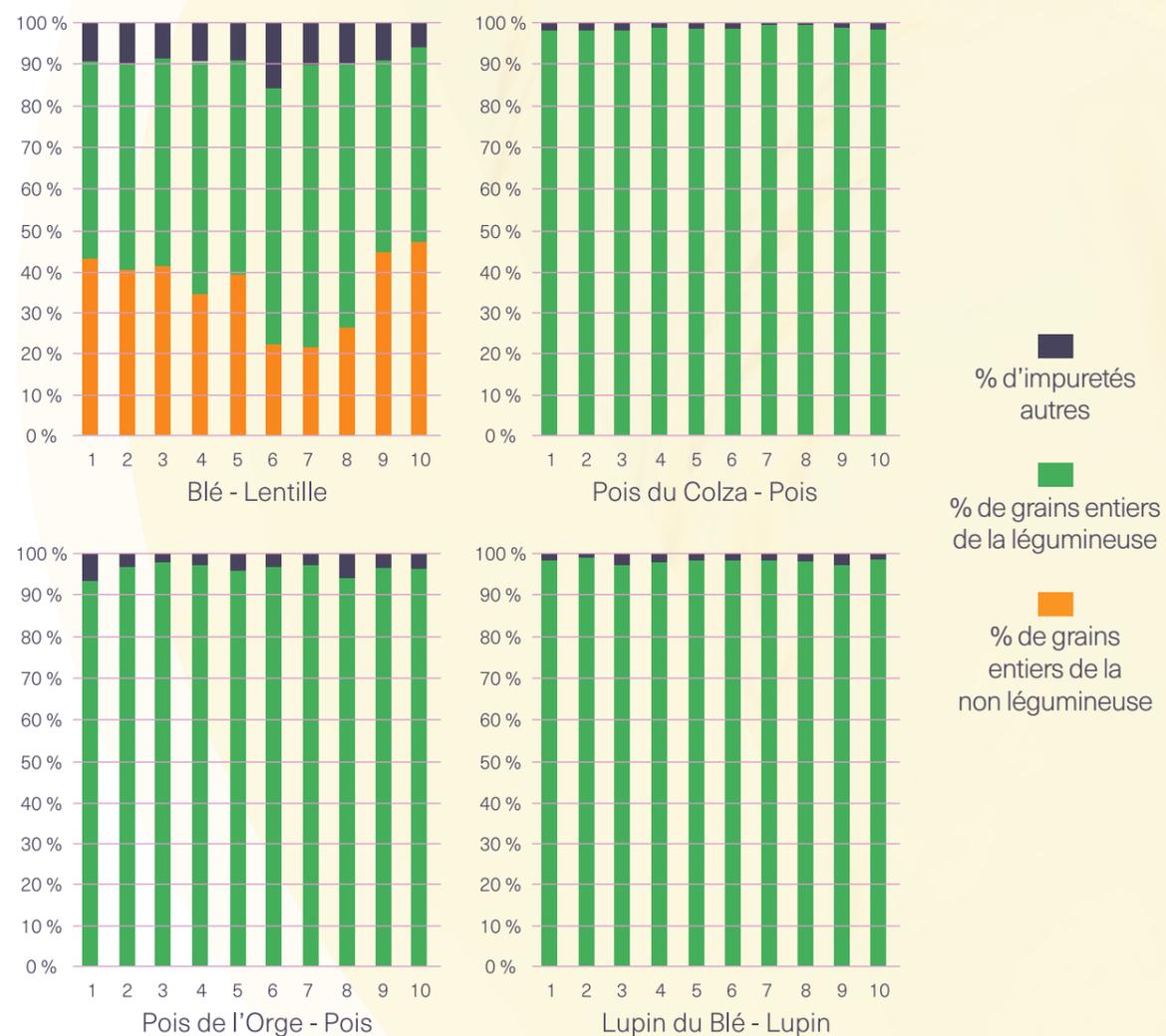
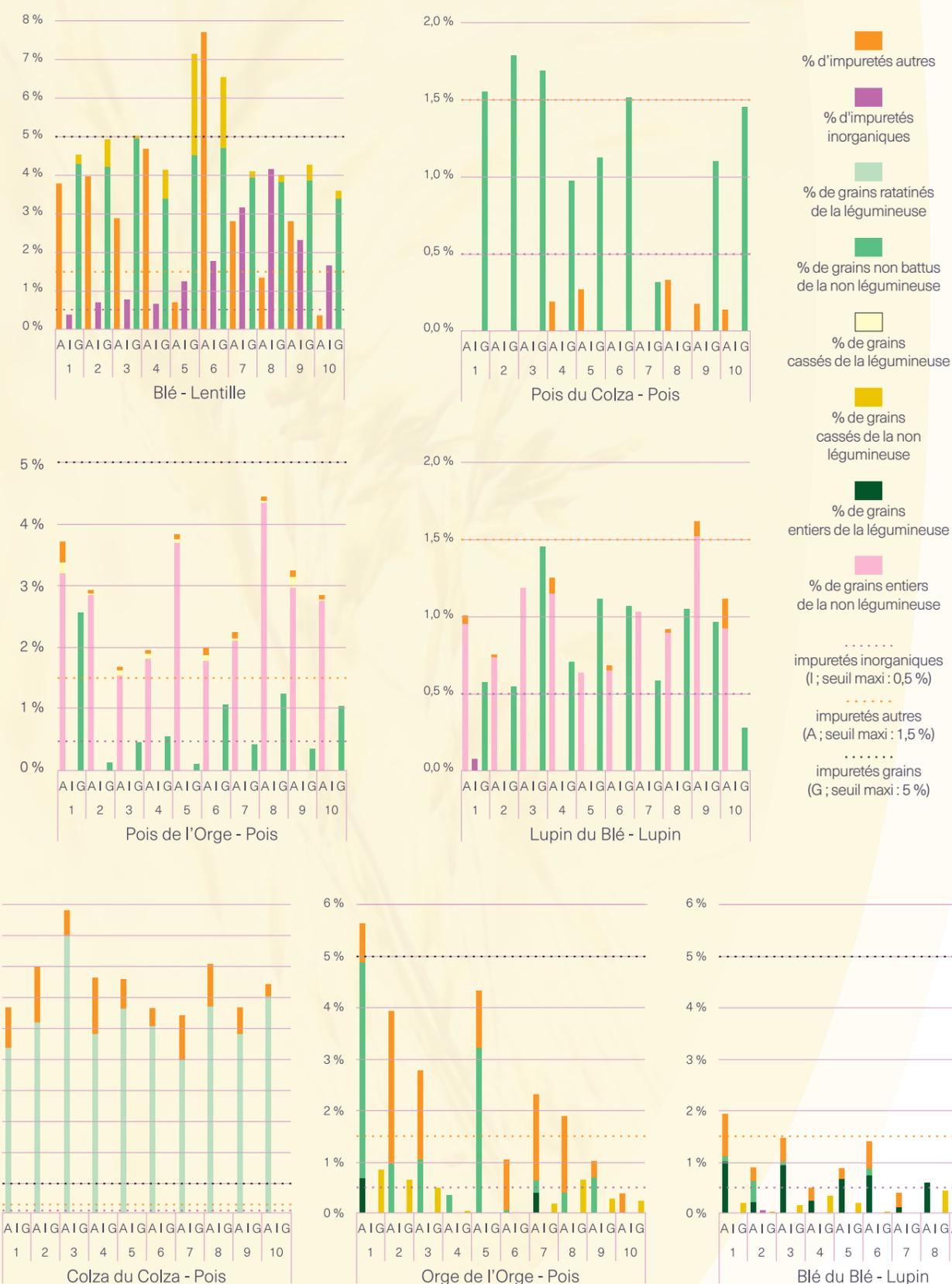


Figure 25 • Pourcentage d'impuretés dans les lots triés en pourcentage de la matière sèche triée en termes d'autres impuretés végétales (A), de matière inorganique (I ; terre et cailloux) et de grains non commercialisables (G ; cassés, non battus et ratatinés)

Les traits pointillés indiquent les normes maximales autorisées.
Les nombres indiqués au-dessus des espèces correspondent à l'identifiant des lots.



4. Récolte et tri des mélanges

également du taux de matière inorganique (1.7% en moyenne compris entre 0.4% et 4.2%) et, dans certains cas, du taux de grains non commercialisables (4.8% allant de 3.6 à 7.2%).

Dans le cas de la séparation du mélange colza-pois, **aucun des lots de colza ne respecte les normes**, du fait des taux d'impuretés autres (37.4% en moyenne compris entre 32.1% et 48.9%), constitués majoritairement de pois ratinés. Par contre, **tous les pois issus du tri du mélange colza-pois sont conformes**, en lien avec l'objectif visé qui était de nettoyer le pois.

À l'inverse, **aucun pois du mélange orge-pois n'est conforme**, du fait des impuretés autres (2.9% en moyenne variant de 1.7% à 4.4%), sachant que l'objectif visé était de nettoyer l'orge. Cet objectif n'a été que partiellement atteint puisque **seulement 40% des lots d'orge sont conformes** (lots 4, 6, 8 et 9), alors que les autres présentent des taux d'impuretés autres trop élevés (2.4% en moyenne allant de 0.3 à 5.7%), avec de nombreux pois cassés.

Enfin dans le cas du mélange blé-lupin, **tous les lupins sont aux normes, sauf le lot 9**, ainsi que 70% des lots de blé, à l'exception des lots 1, 9 et 10, du fait de la présence de grains de lupins cassés ou ratinés en quantité trop importante.

À l'issue du premier tri, il apparaît qu'un certain nombre de lots ne respectent pas les normes de qualité attendues, nécessitant un second passage de trieur. C'est le cas de tous les colza, de tous les pois issus du mélange orge-pois et de tous les mélanges de blé-lentille.

Un second tri pas toujours pertinent

Le second tri visait à : I) séparer le mélange blé-lentille en deux fractions (une à dominante blé et l'autre à dominante de lentille) ; II) nettoyer le colza ; et III) nettoyer le pois du mélange orge-pois. **À noter qu'aucun grain entier n'a été perdu lors de ce second tri.**

À l'issue de ce second passage dans le trieur, nous avons, comme précédemment, analysé la composition des différents lots au regard des seuils d'impuretés (**Figure 26** et **Figure 27**). Dans le cas du tri des lots de blé-lentille, la fraction à dominante de blé contient en moyenne 86% de blé et 7% de lentille et, à ce titre, doit être considérée

comme un mélange de grains. Il en est de même de la fraction à dominante de lentille, composée à 75% de lentille et à 15% de blé. Dans les deux cas, **aucun des lots triés du mélange blé-lentille ne respecte les normes définies.** En effet, la fraction à dominante de lentille contient en moyenne 6.1% de grains non commercialisables (compris entre 4.8% et 10.4%) et 2.9% d'impuretés autres (compris entre 0.0% et 6.2%). Dans le cas de la fraction à dominante de blé, ce sont principalement les impuretés inorganiques qui conduisent au déclassement des lots (4.3% en moyenne avec des valeurs comprises entre 0.9% et 11.9%).

Le nettoyage du colza a permis de mettre 40% des lots aux normes (lots 1, 6, 7 et 10), sachant que quatre autres lots sont relativement proches du seuil maximal de 1.5% d'impuretés autres (lots 3, 5, 8 et 9 avec respectivement 1.5%, 2.1%, 2.2% et 2.1% d'impuretés autres).

Enfin, **après le nettoyage du pois du mélange orge-pois, tous les lots sont aux normes** avec en moyenne seulement 0.8% de grains non commercialisables et 0.2% d'impuretés autres.

Figure 26 • Composition des lots après un second tri, en pourcentage de matière sèche, en distinguant, pour chaque espèce, la partie commercialisable correspondant aux grains entiers et le reste regroupant les impuretés diverses (grains cassés, non battus ratinés, impuretés inorganiques, impuretés d'origine animale et impuretés végétales autres)

Les nombres indiqués au-dessus des espèces correspondent à l'identifiant des lots.

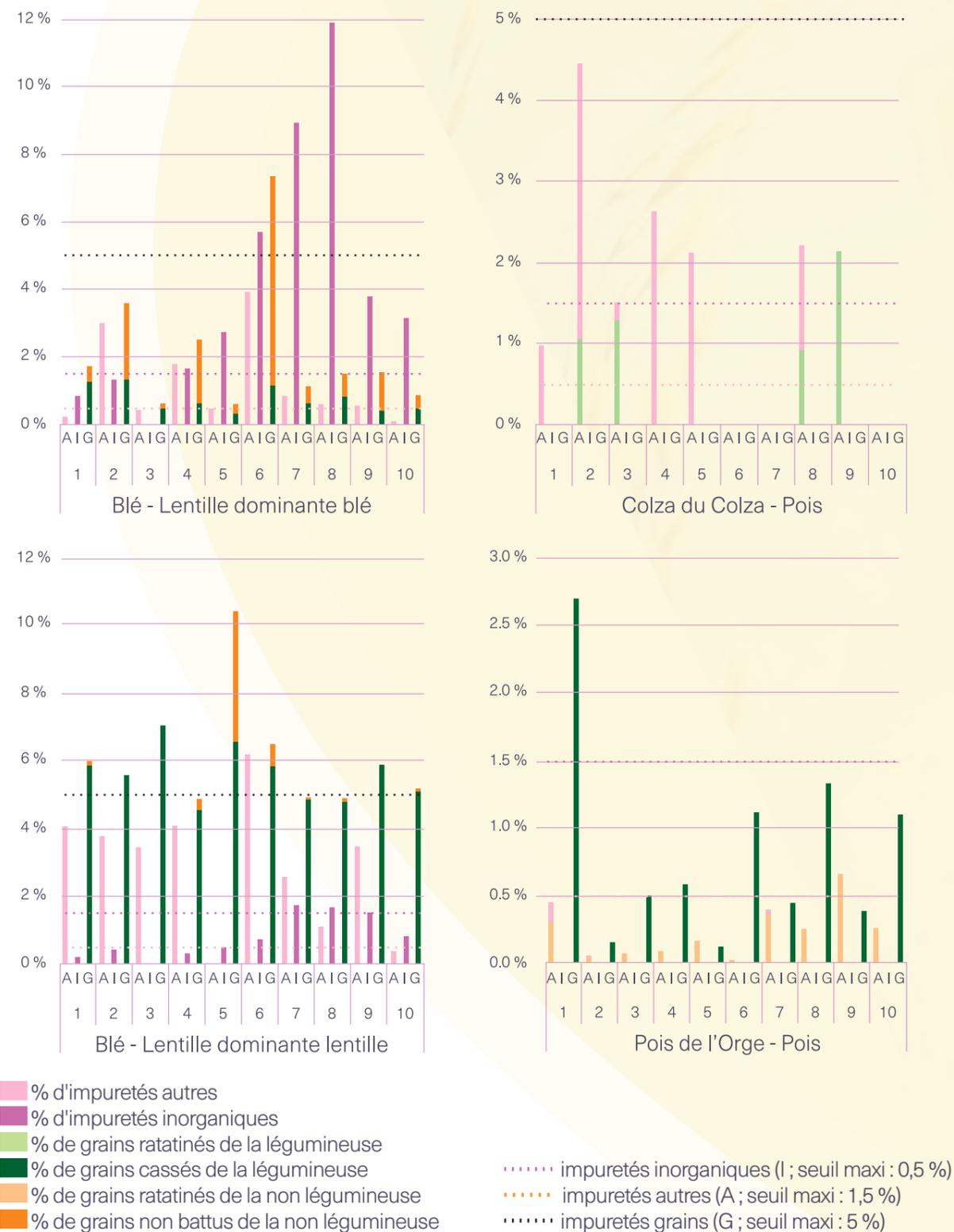


4. Récolte et tri des mélanges

Figure 27 • **Pourcentage d'impuretés dans les lots après un second tri en pourcentage de la matière sèche après le second tri en termes d'autres impuretés végétales (A), de matière inorganique (I ; terre et cailloux) et de grains non commercialisables (G ; cassés, non battus et ratatinés).**

Les traits pointillés indiquent les normes maximales autorisées.

Les nombres indiqués au-dessus des espèces correspondent à l'identifiant des lots.



Valeur de la récolte au tri

Les résultats précédents montrent que certains jeux de réglages de la moissonneuse-batteuse, couplés à un ou deux tris avec un séparateur vibrant comme le SVD 100 des Établissements Denis, sont tout à fait convenables pour limiter la quantité d'impuretés et de grains cassés dans les produits finis issus d'une association colza-pois, orge-pois ou blé-lupin, et ainsi permettre une valorisation en alimentation humaine. En revanche, dans le cas du mélange blé-lentille, ce type de séparateur reste insuffisant mais doit être vu comme un préalable avant l'utilisation, dans un second temps, d'une technologie plus sophistiquée comme une table densimétrique ou un trieur optique. Toutefois, ces éléments posent la question de l'intérêt économique d'une telle démarche que l'on pourrait formuler ainsi :

- Quelle est la perte économique à la récolte ?
- Y-at-il une plus-value à trier et retrier ?
- Quelle part de la valeur produite au champ peut-on récupérer ?
- Les différents réglages à la récolte conduisent-ils à des différences de valeur au final ?

Calcul de la valeur économique

Pour le prix des cultures, en considérant l'absence totale d'impuretés et des produits à 14% d'humidité, nous avons utilisé les valeurs suivantes :

- Blé : 400€/t (465€/t à 0% d'humidité) ;
- Orge : 260€/t (302€/t à 0% d'humidité) ;
- Colza : 750€/t (872€/t à 0% d'humidité) ;
- Pois : 350€/t (407€/t à 0% d'humidité) ;
- Lentille : 1400€/t (1628€/t à 0% d'humidité) ;
- Lupin : 600€/t (698€/t à 0% d'humidité).

Dans le cas de la vente d'un mélange de deux espèces, nous avons considéré que le prix était réduit de 20% par rapport au prix des cultures pures.

Sur la base des taux maximum d'impuretés autorisés nous avons choisi d'intégrer un malus en fonction des taux d'impuretés, en considérant une baisse de 5% du prix, lorsqu'au moins un des taux d'impuretés (grains cassés, ratatinés et non battus ; matière végétale autre ; matière inorganique et matière animale) était compris entre une et deux fois la norme maximale autorisée, de 10% entre deux et trois fois la norme maximale, et ainsi de suite.

Valeur économique de référence

Pour analyser la valeur économique des lots, nous avons choisi comme référence la valeur théorique au champ, calculée à partir de la masse de tous les grains présents dans une tonne de produit récolté à 0% d'humidité, à l'exception des grains ratatinés.

Ce calcul revient à considérer comme référence une situation où l'on serait en capacité de récolter et séparer tous les grains commercialisables sans en casser aucun. À noter que l'utilisation d'une telle référence standardisée permet de s'affranchir de la variabilité intra-parcellaire en termes de proportion des espèces dans le mélange ou d'enherbement qui impacte la valeur des différents lots indépendamment de la qualité de la récolte.

Ainsi les valeurs de référence des mélanges calculées à partir de la moyenne des 10 lots sont :

- 969€ (858 à 1076€) pour le blé-lentille ;
- 414€ (402 à 420€) pour le colza-pois ;
- 319€ (306 à 329€) pour l'orge-pois ;
- 597€ (586 à 605€) pour le blé-lupin.

2% de valeur perdue à la récolte

Comme indiqué précédemment, une première perte de valeur est liée à la récolte *sensu stricto* qui génère une fraction de grains cassés et non battus.

Les pertes à la récolte sont relativement limitées, si bien que la valeur du produit récolté représente 99% de la valeur de référence pour le colza-pois, orge-pois et blé-lupin (Figure 28). À l'inverse, pour le mélange blé-lentille les pertes à la récolte représentent 6% de la valeur de référence (compris entre 5% et 8%). Toutefois cette perte est en grande partie liée à des grains cassés de lentille certainement infestés par des bruches, si bien que la perte réelle est certainement moindre.

Ces résultats montrent que globalement, **pour un mélange donné, les réglages de la moissonneuse-batteuse n'ont pas eu d'effet sur la proportion de grains cassés et non battus.** À l'inverse, la proportion de grains cassés et non battus dépend des espèces associées.

Aux normes, 38% de valeur perdue à la récolte

Les produits récoltés correspondent à des mélanges de grains, ce qui, au regard des hypothèses formulées précédemment, conduit à une réduction de la valeur de 20% par rapport à des cultures pures. Surtout, du fait des réglages de la moissonneuse-batteuse et des mélanges récoltés, les lots présentent des taux d'impuretés qui varient considérablement. Or comme indiqué précédemment, nous avons considéré une baisse du prix de 5% lorsqu'au moins un des taux d'impuretés était compris entre une et deux fois la norme maximale autorisée, de 10% entre deux et trois la norme maximale, et ainsi de suite.

In fine, la valeur du produit récolté ne représente, en moyenne pour les quatre associations, que 62% de la valeur de référence (38% pour le blé-lentille, 74% pour le colza-pois, 58% pour l'orge-pois et 77% pour le blé-lupin ; Figure 28).

À l'inverse des pertes à la récolte, les réglages de la moissonneuse-batteuse ont un impact fort sur les taux d'impuretés et donc sur la

valeur réelle du produit récolté. Ce résultat est particulièrement remarquable dans le cas du mélange blé-lentille, avec des valeurs comprises entre 11% et 55% de la valeur de référence et, dans le cas du mélange orge-pois, avec des valeurs comprises entre 50 et 64% de la valeur de référence. À l'inverse, dans le cas des deux autres mélanges, l'effet est moindre avec des différences de 9% entre les valeurs minimales et maximales.

Un premier tri pour retrouver 80% de valeur

La réalisation d'un premier passage au nettoyeur-séparateur permet de réduire significativement les taux d'impuretés mais également de séparer les deux espèces (à l'exception du mélange blé-lentille pour lequel il s'agissait uniquement d'un nettoyage) permettant *in fine* de retrouver une part importante de la valeur des lots.

Ces résultats montrent que, dans le cas du mélange blé-lentille, un second tri est nécessaire pour séparer les deux espèces, tout comme un nettoyage du colza et du pois initialement associé à l'orge.

À l'inverse, **dans le cas du blé-lupin, un simple tri a permis de mettre la majorité des lots de blé et de lupin aux normes.**

Ainsi, en moyenne pour les quatre associations, **le produit trié représente 80% de la valeur de référence** (60% pour le blé-lentille, 80% pour le colza-pois, 87% pour l'orge-pois et 95% pour le blé-lupin ; Figure 28), sachant que, pour tous les lots, ces valeurs incluent 15€ du coût du tri d'une tonne de produit récolté.

Ces résultats montrent également que **ce premier tri a permis, dans le cas des mélanges colza-pois et blé-lupin, de réduire l'hétérogénéité des lots, liée aux réglages de la moissonneuse-batteuse**, comme en témoigne la faible différence entre les valeurs minimales et maximales (77% vs. 81% et 91% vs. 96% respectivement).

À l'inverse, **dans le cas des mélanges blé-lentille et orge-pois, la variabilité des lots liée aux réglages de la moissonneuse-batteuse reste importante** au regard des différences entre les valeurs minimales et maximales (44% vs. 69% et 77% vs. 91% respectivement).

4. Récolte et tri des mélanges

Un intérêt variable du second tri

Le tri du mélange blé-lentille par un second passage au nettoyeur-séparateur n'a permis de récupérer que 1% de valeur ajoutée supplémentaire (60% vs 61% respectivement avant et après le second tri), sachant que le coût de cette séparation représente en moyenne 12.8€ par lot, soit 1.3% de la valeur de référence. Ce résultat confirme que **ce type de trieur ne permet pas de séparer efficacement le blé et la lentille, si bien qu'au final les deux fractions doivent être considérées comme des mélanges d'espèces ou comme des produits purs ayant des niveaux très élevés d'impuretés autres, et donc une valeur commerciale réduite**. Ces deux étapes (nettoyage du mélange puis séparation en deux fractions) doivent cependant être vues comme un préalable à l'utilisation d'outils de tri plus spécifiques, comme une table densimétrique ou un trieur optique, et ceci afin d'accroître l'efficacité et le débit de ces derniers et de réduire leur coût de fonctionnement. En effet, **ce second passage a encore réduit l'hétérogénéité des lots**, comme en témoigne la moindre différence entre les valeurs minimales et maximales (11% vs. 25% respectivement après et avant le second tri).

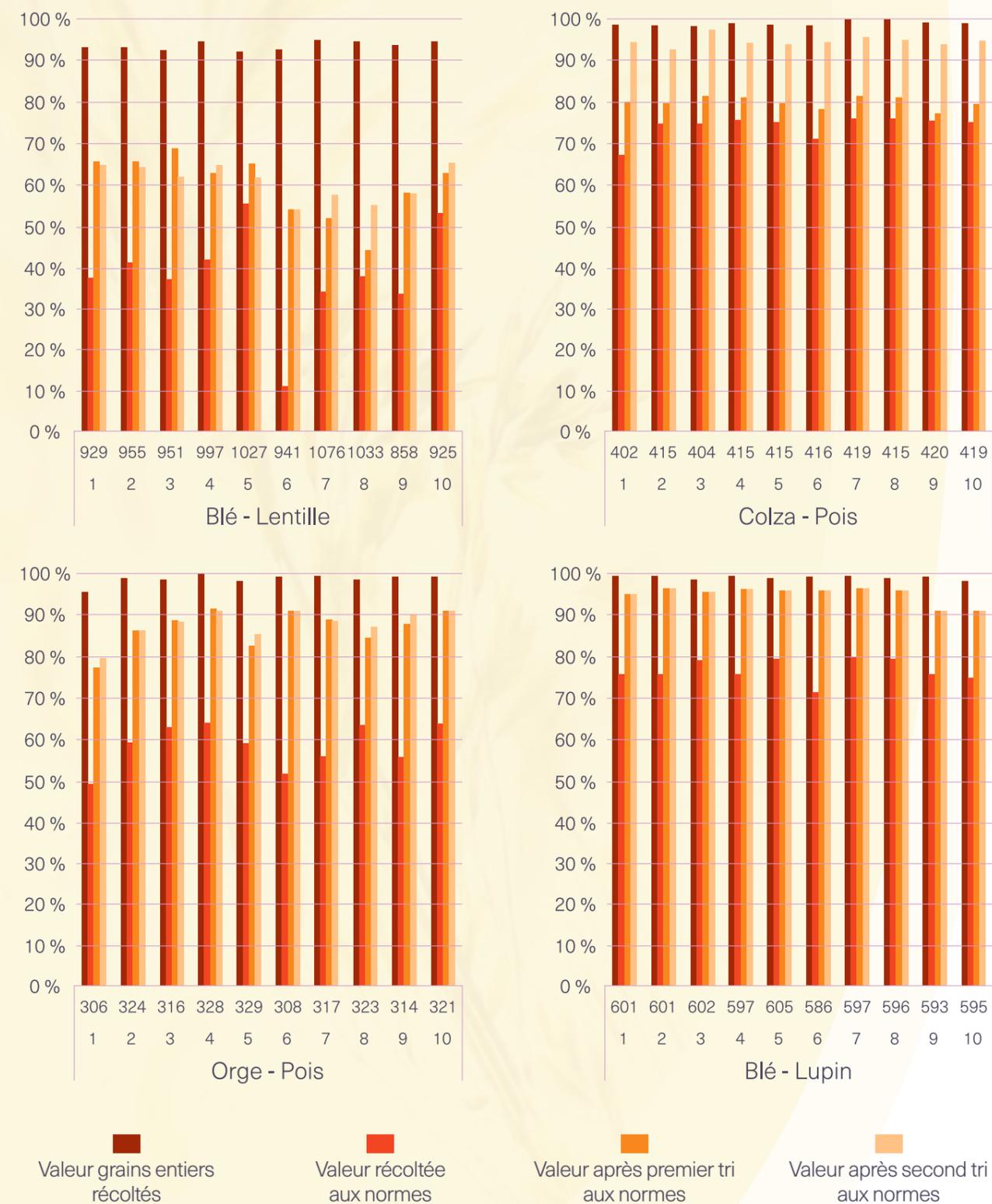
Pour le **mélange orge-pois**, le nettoyage du pois n'a permis de regagner que 2% de la valeur de référence du mélange (87% vs 89% respectivement avant et après le second tri), sachant que le coût de cette séparation est en moyenne de 6.3€ par lot, représentant 2.0% de la valeur de référence. À noter qu'un nettoyage de l'orge aurait certainement permis de regagner un peu de valeur ajoutée, mais de façon marginale du fait du rapport entre le coût du tri et le prix de l'orge.

À l'inverse, le **nettoyage du colza a permis de retrouver 15% de la valeur de référence du mélange colza-pois** (80% vs 95% respectivement avant et après le second tri), sachant que le coût de ce nettoyage est faible (1.1€ en moyenne par lot soit 0.3% de la valeur de référence) du fait que la masse de colza ne représentait que 7% de la masse du mélange récolté.

Finalement, alors même que notre calcul ne prend pas en considération le temps passé à trier ni le coût de la main d'œuvre, **nos résultats montrent qu'un second tri n'est pas toujours économiquement pertinent et doit être raisonné en fonction du coût du tri, relativement à celui du prix des cultures, tout en tenant compte du niveau d'impuretés et du malus appliqué**. Ainsi, le second tri d'une fraction n'apparaît pas pertinent dans le cas où : I) les taux d'impuretés et donc les malus associés sont faibles, II) la valeur marchande est faible relativement à celle du coût du tri du fait du prix de la culture (ex : orge) et de la part de la culture dans la valeur du mélange (ex : blé vs. lupin), III) elle ne permettra pas une séparation efficace.

Figure 28 • Valeur économique des lots, exprimée en pourcentage de la valeur théorique, et qui correspond à la valeur dans le cas où l'on serait en capacité de récolter et séparer tous les grains : I) après récolte en ne tenant compte que des grains entiers, II) après récolte en considérant une valorisation du mélange à 80% de sa valeur et en intégrant un malus en fonction des taux d'impuretés, III) après un premier tri en intégrant un malus en fonction des taux d'impuretés ; et iv) après un second tri en intégrant un malus en fonction des taux d'impuretés.

Les nombres indiqués au-dessus des espèces correspondent à l'identifiant des lots et à la valeur théorique.



Récolter et trier: *yes we can!*

Nous avons montré que **les cultures associées pouvaient être correctement valorisées économiquement en optimisant les réglages de la moissonneuse-batteuse et en effectuant un tri adapté**. Pour cela, il est nécessaire, d'une part, de bien connaître sa moissonneuse-batteuse afin d'en optimiser le fonctionnement, mais cet optimum doit être défini au regard de la capacité à trier. Dès lors, l'opérateur doit être en mesure d'analyser la qualité de la récolte en fonction de ses outils de tri, ce qui nécessite une autre forme d'expertise. Enfin, le rapport coût/bénéfice du tri doit être systématiquement pris en compte, sachant qu'il dépend de nombreux facteurs et notamment des malus appliqués par les acheteurs en fonction des taux d'impuretés ainsi que du matériel utilisé.

